

1. Лабораторно-практична робота №3.1 Визначення енергоефективності освітлювальних пристроїв

1.1 Мета роботи

1. Ознайомитися з основними типами освітлювальних пристроїв.

2. Дослідити ефективність сучасних світильників.

Після виконання роботи студент повинен

знати:

- основні типи та характеристики ламп, що використовуються у системах освітлення;

- методику визначення їх ефективності.

вміти:

- визначати основні характеристики ламп та світильників;

- визначати ефективність заміни існуючих світильників на енергозберігаючі.

1.2 Ключові положення

Актуальність питання

За різними оцінками витрати на освітлення підприємства складають 20...40% від загальної кількості витрат на електроенергію, і приблизно 30% для країни в цілому, тому зменшення кількості споживаної енергії на освітлення є важливим завданням для будь-якої держави. На підприємствах зв'язку часто витрати електроенергії на освітлення робочих і службових приміщень перевищують витрати електроенергії на роботу телекомунікаційного обладнання. Це ще раз підтверджує факт, що в телекомунікаційній апаратурі енергозберігаючі технології впроваджувалися з моменту появи даної апаратури і для підприємств зв'язку основними завданнями енергозбереження є скорочення витрат енергії на роботу інфраструктури підприємства.

Системи освітлення

Освітлення може бути природним або штучним. При природному освітленні джерелом світла є сонце. Сучасні системи штучного освітлення для отримання світла використовують електричну енергію. Існують пристрої та системи освітлення, які використовують для отримання світла інші джерела енергії (природний газ, гас, свічки і т.п.), однак внаслідок своєї малої ефективності вони використовуються тільки в якості резервних або аварійних джерел світла при аваріях в електромережі або в районах з перебоями в електропостачанні.

Використання електричної енергії для отримання світла визначається наступним:

- електричну енергію можна легко доставити в потрібне місце;
- перетворення електричної енергії в світлову проводиться лампами, що мають високу надійність і безпеку експлуатації, а також низькі витрати на обслуговування;

- можливе створення компактних автономних джерел світла (ліхтарі).

Ці та інші фактори привели до домінуючого положення електричних пристроїв і систем освітлення і поступового витіснення освітлювальних приладів інших типів.

До складу системи освітлення в загальному випадку входить:

- світильники, які містять лампи, пускорегулювальні пристрої, оптику, яка формує необхідний світловий потік;
- пристрої управління світильниками: вимикачі, світлорегулятори (димери), автоматичні пристрої тощо;
- електричні розподільні мережі;
- системи моніторингу та управління освітлювальними системами.

Основними напрямками енергозбереження в системах освітлення є:

- оптимізація графіка роботи виробництва для максимального використання денного світла;
- збільшення площі та прозорості вікон;
- підвищення світловідбивальної здатності стін та стелі;
- можливість регулювання кількості використовуваних світильників;
- збільшення світлового потоку світильників за шляхом підвищення прозорості плафонів, використання рефлекторів, формування спрямованого потоку;
- використання місцевого освітлення;
- використання світильників на основі ламп зі збільшеною світловіддачею;
- використання автоматичних пристроїв управління освітленням (датчики руху, датчики освітленості, програмовані таймери);
- розробка та установка інтелектуальних систем управління освітленням.

На існуючих підприємствах зв'язку основними напрямками енергозбереження в освітлювальних системах є використання ламп з високою світловіддачею, використання різноманітної автоматики управління світлом, використання спрямованого і місцевого освітлення.

Джерела світла

Природні джерела світла – природні об'єкти і явища одним з властивостей яких є здатність випускати видиме світло.

До природних джерел світла відноситься досить велика кількість об'єктів і явищ (місяць, зірки, блискавки, полярні сяйва, мінерали, що світяться та ін.), Однак на практиці для освітлення використовується тільки світлове випромінювання сонця.

Штучні джерела світла – технічні пристрої, призначені для отримання світла з інших видів енергії.

Електричне джерело світла (лампа) – пристрій, що здійснює перетворення електричної енергії в світлову.

Світильник – штучне джерело світла, яке забезпечує нормальну роботу і розподіл світла лампи.

Характеристики джерел світла

При перетворенні енергії неминучі втрати, які виділяються, як правило, у вигляді тепла і залежать від конкретного типу світлового приладу. Оцінку втрат різних типів пристроїв здійснюють по їх світловій віддачі.

Світлова ефективність джерела світла (світловіддача) – відношення випромінюваного джерелом світлового потоку до споживаної ним потужності. Світловіддача вимірюється відношенням кількості світла, створеного лампою, що вимірюється у люменах (лм), до величини потужності, що біла витрачена на його створення, що вимірюється у ватах (Вт) – лм/Вт. Чим більше світловіддача приладу (світильника або лампи), тим він ефективніший.

До **електричних параметрів** ламп і світильників відносяться:

- номінальна робоча напруга або діапазон робочих напруг, В;
- види електричного струму (постійний, змінний) при яких може працювати лампа або світильник;
- споживана потужність – активна (Вт) або повна (ВА);
- максимальний або номінальний струм, А;
- коефіцієнт потужності (для пристроїв, що працюють від мережі змінного струму).

Основними характеристиками з точки зору енергозбереження є споживана потужність і коефіцієнт потужності. Споживана (активна) потужність витрачається на корисну роботу (створення світлового потоку), а коефіцієнт потужності дозволяє оцінити рівень реактивної потужності від величини якої залежить рівень втрат енергії в електричних розподільних колах.

Наявність пускорегулювального пристрою. Зазвичай лампи розроблюються для роботи з конкретним джерелом електричної енергії (промислова мережа змінного струму, акумулятори, батареї). Однак не всі типи ламп можуть працювати безпосередньо від джерела електричної енергії. Деякі типи (наприклад, газорозрядні лампи) вимагають певного алгоритму включення і підтримки робочого режиму. Для забезпечення роботи таких ламп використовуються **пускорегулювальний пристрій (ПРП)** – пристрій, що забезпечує пуск і підтримання робочого режиму джерела світла.

Необхідність наявності пускорегулювального пристрою в будь-якому випадку є недоліком ламп будь-якого типу, оскільки це призводить до додаткових втрат енергії, погіршення надійності, збільшення розмірів і вартості світильників. У разі, коли лампа вимагає наявності ПРП в

розрахунках необхідно або враховувати його ККД, або використовувати потужність, споживану лампою з ПРП (потужність світильника).

Колірна температура – колір світіння лампи. Різні лампи мають різну колірну температуру. Більш того, недосконалість технології призводить до того, що відтінок світіння ламп одного виробника і навіть однієї партії має помітні на око відмінності в кольорі світіння. Особливо це актуально для світлодіодних ламп, що призвело до необхідності введення додаткової шкали відтінків (бінірованія кольору).

Як правило, в виробники випускаю лампи з наступною колірною температурою:

- 2700 K – тепле біле світло;
- 4200 K – денне світло;
- 6400 K – холодне біле світло.

Деякі лампи (наприклад, лампи розжарювання) мають однакову колірну температуру, незалежно від виробника.

Термін служби ламп обмежений або працездатністю лампи (наприклад, у лампі розжарювання після 1000 годин роботи, як правило, відбувається обрив нитки розжарювання) або зменшенням кількості світлового потоку (наприклад, для люмінесцентних ламп характерно вигорання люмінофора і зменшення емісії катодів, що, в свою чергу призводить до зменшення світловіддачі).

Для світильників термін служби обмежений руйнуванням матеріалів корпусу (розтріскування пластмаси, корозія тощо) під дією сонця, температури, вологості або погіршенням світлотехнічних характеристик (втрата прозорості лінз, зменшення відбивної здатності відбивачів тощо).

Період обслуговування. Для формування необхідного світлового потоку в світильниках використовуються спеціальні відбивачі і лінзи. Наявність лінз і відбивачів призводить до додаткових втрат світлового потоку, що вимагає використовувати лампи підвищеної потужності для забезпечення необхідної освітленості об'єкта.

Згодом світловипромінювальні і світловідбивальні поверхні забруднюються в першу чергу пилом. Це призводить до зменшення світлового потоку і вимагає періодичної чистки ламп і світильників.

Типи електричних ламп

Лампа розжарювання (Рисунок 1.1) – електричне джерело світла, в якому світло випромінюється нагрітим до високої температури тілом розжарення. Принцип дії лампи розжарювання заснований на ефекті виділення теплоти при протіканні через провідник електричного струму. У лампі розжарювання електричний струм проходить через вольфрамову спіраль (тіло розжарення), розігріваючи її до температури 2400...2500 °C. При такій температурі нитка розжарювання випромінює світло, однак основна частина випромінювання (відповідно до закону Планка) припадає на невидиму інфрачервону (теплову) область. За допомогою існуючих ламп

розжарювання принципово неможливо отримати світло аналогічне денному, оскільки для цього тіло розжарення необхідно розігріти до температури поверхні сонця (5500°C) що значно вище температури плавлення вольфраму (3410°C).

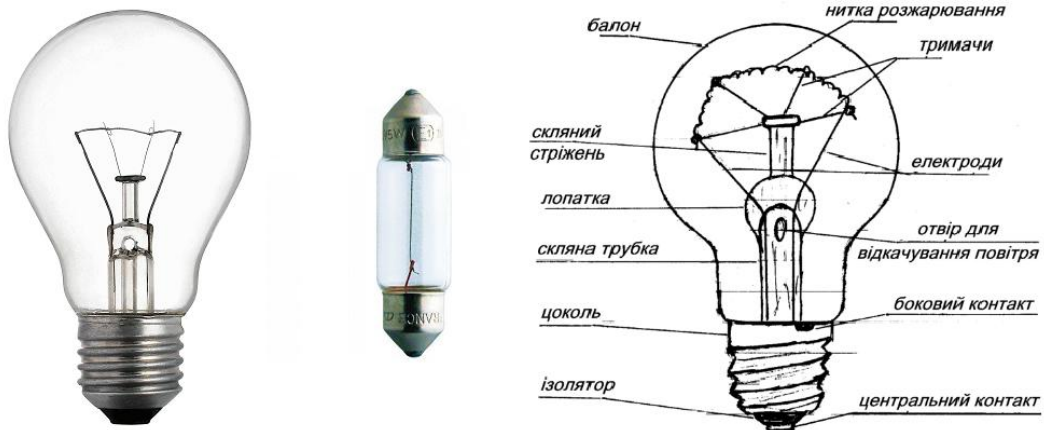


Рисунок 1.1 – Лампа розжарювання

Максимум випромінювання світла для лампи розжарювання досягається при температурі 3100°C , однак, робота в такому режимі призводить до істотного скорочення служби лампи.

Світло, що випромінюється лампами розжарювання жовто-червоне з безперервним спектром, аналогічним спектру природних джерел світла. З цієї причини світло ламп розжарювання не викликає негативних наслідків на самопочуття людини.

На відкритому повітрі вольфрамова спіраль розігріта до високої температури вступає у взаємодію з киснем повітря окислюючись протягом декількох секунд. Для виключення перегорання спіраль поміщена всередині прозорої скляної герметичної колби, з якої викачане повітря. Однак в безповітряному просторі під дією високої температури відбувається випаровування вольфраму, і спіраль стає тоншою, що з часом призводить до її обриву під дією власної ваги або незначної тряски. Випаруваний вольфрам осідає на склі колби і вона з часом темніє (в побуті цей ефект можна помітити в лампах малої потужності, наприклад, в лампах для кишенькових ліхтариків або в лампах для холодильників). Для збільшення терміну служби колба під невеликим тиском заповнюється інертними газами (азотом, аргоном, криптоном).

Перевагами ламп розжарювання є:

- простота конструкції;
- низька вартість;
- можливість виготовляти лампи різної потужності, та на різну напругу;
- можливість роботи на постійному або змінному струмі;
- відсутність мерехтінь при роботі на змінному струмі промислової частоти;
- лампи розжарювання не потребують пускорегулювального пристрою;

- безперервний спектр випромінювання, що не впливає на самопочуття людини;

- спектр випромінювання (колірна температура) не залежить від виробника лампи (лампи різних виробників мають однакову колірну температуру).

Недоліки ламп розжарювання:

- низька світловіддача (5 ... 15 Лм / Вт);
- обмежений термін служби (1000 годин);
- залежність спектра випромінювання від напруги – зменшення напруги призводить до зміщення спектру випромінювання в червону область;
- чутливість до механічних вібрацій і тряски (призводить до обриву нитки розжарювання).

Історично лампи розжарювання були першими з створених людиною електричних джерел світла. Простота і низька вартість призвела до їх поширенню по всьому світу. Однак низька світловіддача, привела до необхідності заміни їх на більш енергоефективні. У ряді країн лампи розжарювання поступово виводять з експлуатації, приймаючи на рівні держави закони, що обмежують їх виробництво і використання.

Поступово лампи розжарювання перестануть використовуватися в системах освітлення. Промисловістю будуть випускатися лампи розжарювання тільки малої потужності, які будуть використовуватися для лише для декоративного освітлення або для освітлення окремих житлових приміщень (наприклад, спальень).

Галогенна лампа – лампа розжарювання, в балон якої додані пари бромово або йоду (галогенних газів). Принцип отримання світла роботи аналогічний лампі розжарювання. Однак хімічні процеси інші. Під дією високої температури вольфрам випаровується з поверхні тіла розжарювання. У звичайній лампі розжарювання випарений вольфрам осідає на стінках колби. У галогенній лампі вольфрам вступає в реакцію з парами галогенних газів. При цьому утворюється нестійка газоподібна сполука, яка не осідає на склі. Потрапляючи в область тіла розжарювання це з'єднання розпадається на складові частини. В результаті велика частина атомів вольфраму повертається назад в тіло розжарення.



Рисунок 1.2 – Галогенна лампа

Такий механізм повернення атомів дозволив підвищити температуру тіла розжарювання до 2700 °С. Це призвело до підвищення світловіддачі лампи до 13-15 лм/Вт (28 лм/Вт – теоретичний максимум) і збільшення терміну служби до 2000...4000 годин.

Галогенним лампам притаманні ті ж переваги та недоліки що і лампам розжарювання. Те ж справедливо і до перспектив їх використання в системах освітлення.

Основними перевагами галогенних ламп є можливість використовувати їх замість ламп розжарювання без яких-небудь доопрацювань. На сьогоднішній день галогенні лампи застосовуються в прожекторах, рампях, а також для освітлення при фото-, кіно- і відеозйомки, в кінопроекційній апаратурі. Галогенні лампи також активно використовуються в автомобільних фарах завдяки їх підвищеній світловіддачі, довговічності, стійкості до коливань напруги, малим розмірам колби.

Особливістю галогенних ламп є чутливість до жирових забруднень. Колби лампи не можна торкатися навіть чистими руками. Залишки жиру, які завжди присутні на пальцях, залишають на колбі відбитки. Під час роботи під дією високої температури колби жир вигорає, залишаючи почорніння на поверхні скла. Почорніння призводить до локального додаткового нагрівання колби в цьому місці, що призведе до її розтріскування. Для запобігання цього під час установки колбу лампи необхідно тримати через чисту серветку (або в чистих рукавичках), а при випадковому торканні ретельно протерти колбу тканиною без волокон (наприклад мікрофіброю) зі спиртом.

Люмінесцентна лампа - електричний джерело світла, в якому світло випромінюється люмінофором, який, в свою чергу, порушується ультрафіолетовим випромінюванням виникають, при розряді електричного струму через розряджені пари ртуті [7].

Люмінесцентна лампа являє собою скляну трубку, внутрішня поверхня якої покрита шаром люмінофора. На торцях трубки знаходяться два катода - електричні провідники у вигляді спіралі, покриті оксидами рідкісноземельних металів. Трубка заповнена парами ртуті та інертними газами. Після запалювання лампи між катодом виникає низькотемпературний дугового розряд, в результаті якого виникає ультрафіолетове випромінювання. Люмінофор, поглинаючи це випромінювання, починає світитися в видимому оці спектрі.

Колір світіння лампи залежить від хімічного складу люмінофора і може варіюватися в широких межах. У деяких випадках, наприклад в медицині, використовують лампи без люмінофора з колбою з кварцового скла, що пропускає ультрафіолетове випромінювання.

Газорозрядні лампи – електричні джерела світла, в яких світло випромінюється внаслідок проходження електричного струму через газ. У системах освітлення використовуються газорозрядні лампи високого і низького тиску газу всередині лампи.

Люмінесцентна лампа (Рисунок 1.3) – газорозрядна лампа низького тиску. На відміну від лампи розжарювання, не може бути включена безпосередньо в електричну мережу. Основні причини цього:

- для виникнення розряду в люмінесцентній лампі потрібен імпульс високої напруги;
- катоди лампи перед запалюванням необхідно попередньо підігріти;
- люмінесцентна лампа має негативний диференціальний опір, якщо не вживати ніяких заходів, то після виникнення розряду струм в ній багато разів зростає і лампа вийде з ладу.



Рисунок 1.3 – Люмінесцентні лампи

Для вирішення цих проблем застосовують спеціальні пускорегулювальні пристрої. Найбільш поширеним на сьогоднішній день є електромагнітний баласт з неоновим стартером (Рисунок 1.4, *а*), проте, він має низькі технічні показники (великі маса і габарити, високий рівень шуму, низький коефіцієнт потужності). У високоякісних світильниках застосовують електронні баласты (Рисунок 1.4, *б*), які позбавлені зазначених недоліків.



Рисунок 1.4 – Дросельний – *а* та електронний – *б* пускорегулювальний пристрій (баласт) для люмінесцентних ламп

Переваги люмінесцентних ламп:

- висока (в порівнянні з лампами розжарювання) світловіддача (80...100 лм/Вт);
- широкий вибір кольорів, в тому числі і біле денне світло, які визначаються хімічним складом люмінофора;
- розсіяне світло – світловий потік рівномірно розподілений по всій поверхні трубки;
- тривалий (в порівнянні з лампою розжарювання) термін служби (2000...20000 годин).

Недоліками люмінесцентних ламп є:

- необхідність використання пускорегулювального пристрою, що призводить до дотикових втрат потужності;
- неприродний для людини лінійчатий спектр випромінювання, який у деяких людей викликає відчуття дискомфорту;
- великі розміри трубки і необхідність пускорегулювального пристрою робить складним створення люмінесцентних ламп компактних розмірів;
- при використанні дешевих електромагнітних або неякісних пускорегулювальних пристроїв (баластів) можливі мерехтіння лампи з подвоєною частотою мережі (100 Гц) та скорочення терміну служби;
- проблеми з запуском лампи при низьких напруги мережі і низьких температурах довколишнього середовища;
- необхідність певної кількості часу (5...10 хвилин в залежності від температури) для виходу світлового потоку на номінальну потужність;
- проблеми утилізації – люмінесцентна лампа містить небезпечні для людини речовини, в першу чергу ртуть (1...70 мг залежно від типу лампи).

Незважаючи на велику кількість недоліків, і завдяки високій світловіддачі люмінесцентні лампи є основним джерелом світла для виробничих систем освітлення (цехи, офіси, коридори і т.п.). До недавнього часу люмінесцентні лампи були єдиною альтернативою лампам розжарювання для освітлення робочих приміщень.

Компактні люмінесцентні лампи – малогабаритні люмінесцентні лампи із вбудованим пускорегулювальним пристроєм, можуть використовуватися у світильниках призначених для ламп розжарювання.

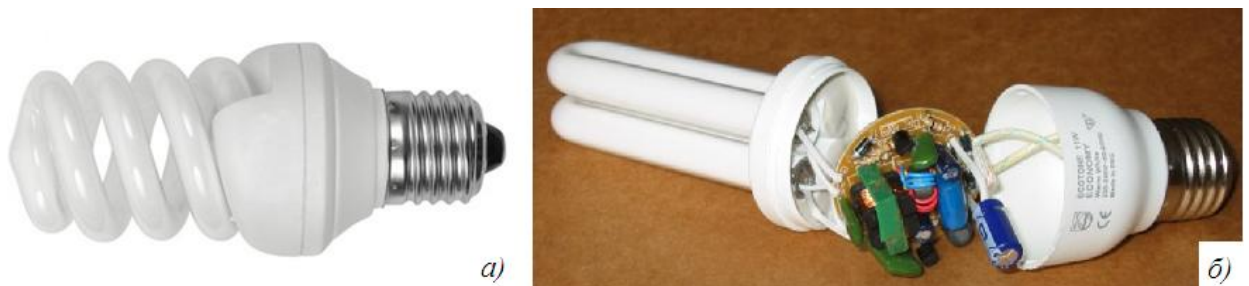


Рисунок 1.5 – Зовнішній вигляд – а та будова – б компактної люмінесцентної лампи

Основною проблемою виведення з експлуатації ламп розжарювання була відсутність їм адекватної заміни. Існуючі люмінесцентні лампи мають великі габарити і не можуть бути використані безпосередньо без заміни існуючих світильників, розрахованих на лампи розжарювання. А заміна світильників або пов'язана з великими фінансовими витратами, або просто неможлива, наприклад у зв'язку з порушенням дизайну інтер'єру.

Довгий час перед виробниками компактних люмінесцентних ламп стояли дві складні технологічні завдання: створення трубки малого розміру і розробка компактного і надійного пускорегулювального пристрою. Перше завдання було вирішене шляхом згортання довгої трубки в спіраль, друга – з появою нової елементної бази, в першу чергу силових височастотних транзисторів.

Компактні люмінесцентні лампи мають ті ж переваги і недоліки, що і люмінесцентні лампи. Для даних ламп характерна дещо менша світловіддача (50...80 лм/Вт), яка пов'язана з тим, що трубка, згорнута в спіраль частково затінює сама себе.

В даний час компактні люмінесцентні лампи, як і лампи розжарювання, поступово витісняються світлодіодними лампами, які мають велику світловіддачу, і стійку тенденцію до зменшення вартості.

Газорозрядні лампи високого тиску (ГЛВТ) – газорозрядна лампа, у якій світло генерується дуговим розрядом в газі. Основним елементом (ГЛВТ) є пальник, який виготовляється з тугоплавкого і хімічно стійкого прозорого матеріалу (кварцового скла або спеціальної кераміки), і наповнюється дозованими порціями інертних газів. У пальник вводиться металева ртуть або натрій, які в холодній лампі мають вигляд невеликої кульки, або осідають у вигляді нальоту на стінках колби або електродах. Електричний розряд в пальнику дугової лампи створює випромінювання блакитного або фіолетового кольору, а також, потужне ультрафіолетове випромінювання. Останнє збуджує світіння люмінофора, нанесеного на внутрішній стінці зовнішньої колби лампи. Випромінювання люмінофора, разом із випромінюванням пальника, дає яскраве світло, близьке до білого.



Рисунок 1.6 – Ртутна – *а* та натрієва – *б* лампи високого тиску

Перевагами ГЛВТ є:

- висока світловіддача (75...120 лм/Вт);
- тривалий термін служби (10000...20000 годин);
- низька вартість.

Недоліками ГЛВТ:

- низька якість світла, внаслідок чого ГЛВТ використовуються для загального освітлення цехів, вулиць, промислових підприємств та інших об'єктів, що не потребують високих вимог до якості передачі кольору і приміщень без постійного перебування людей;

- складні алгоритми запуску: для виходу лампи на робочий режим потрібно 10...15 хвилин, після чого повторний запуск можливий тільки після охолодження лампи;

- залежність яскравості світіння від величини напруги живлення;
- необхідність пускорегулювального пристрою;
- вміст небезпечних для людини речовин, у першу чергу ртуті.

ГЛВТ є основними джерелами світла для вуличного освітлення, проте в найближчому майбутньому можлива поступова заміна їх на світлодіодні лампи, які позбавлені більшості з існуючих недоліків.

Світлодіодні лампи (Рисунок 1.7) – електричні джерела світла, в якому світло випромінюється за рахунок проходження електричного струму через електронно-дірковий перехід або контакт метал-напівпровідник всередині напівпровідникових світлодіодів.

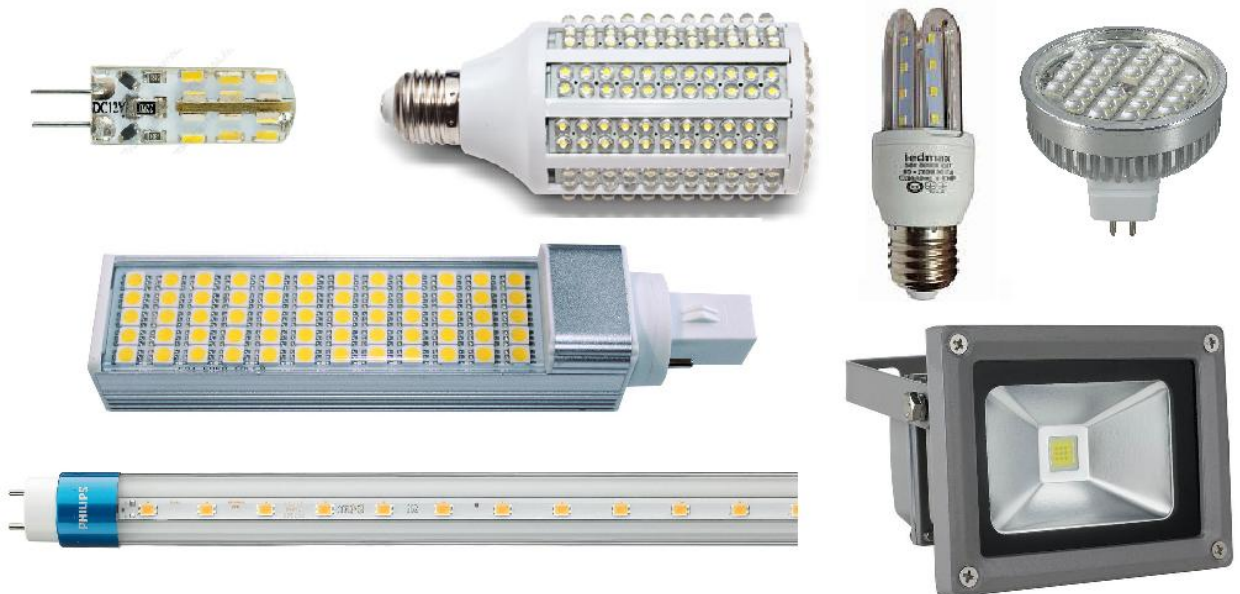


Рисунок 1.7 – Світлодіодні лампи

Теоретична можливість створення освітлювальних світлодіодів білого кольору з'явилася в 1989 році після винаходу синього світлодіода (червоний і зелений були винайдені набагато раніше). Оскільки перехід світлодіода випромінює світло тільки певної довжини хвилі, то для отримання білого кольору потрібно комбінувати випромінювання від декількох світлодіодів різних кольорів (подібний принцип використовується в телебаченні).

За останні 20 років світовими виробниками освоєна технологія виробництва потужних світлодіодів і ламп на їх основі з високою світловіддачею. Це призводить до поступового витіснення звичайних джерел світла з систем освітлення. Будова найбільш поширених світлодіодних ламп із вбудованим ПРП (драйвером), призначених для роботи від промислової мережі показана на рисунку (Рисунок 1.8).



Рисунок 1.8 – Зовнішній вигляд – а та будова – б світлодіодної лампи, призначеної для заміни ламп розжарювання

Перевагами світлодіодних ламп:

- висока світлова віддача (до 230 лм/Вт);
- висока механічна міцність, вібростійкість (відсутність нитки розжарювання та інших чутливих складових).
- тривалий термін служби (50 000...100 000 годин);
- покращений, в порівнянні з люмінесцентними лампами спектр випромінювання;
- малий кут випромінювання – простота формування спрямованого випромінювання;
- низька напруга (не більше 4В), необхідне для роботи.
- нечутливість до низьких температур;
- відсутність небезпечних для людини речовин, у першу чергу ртуті.

Недоліками світлодіодів є:

- висока ціна;
- необхідність використання ПРП (драйверу);
- малий кут випромінювання – для формування розсіяного світла потрібні спеціальні лінзи.

На сьогоднішній день світлодіодні джерела світла є перспективним напрямком в системах освітлення. Вже існують світлодіодні лампи, що дозволяють виконувати заміну всіх більшості існуючих типів ламп.

Філаментні світлодіодні лампи (Рисунок 1.9) – світлодіодні лампи, які дизайном максимально нагадують лампи розжарювання. Слово «філамент» у перекладі з англійської (filament) означає нитку розжарення. З технічної точки зору словосполучення «філаментна світлодіодна» некоректне, оскільки у цих лампах немає тіла розжарювання, але на даний час це словосполучення вже стало сталою торговою маркою, що означає конкретний тип світлодіодних ламп.



Рисунок 1.9 – Філаментні світлодіодні лампи

За основу даної лампи була взята проста, але ефективна технологія виробництва дисплеїв для мобільних пристроїв Chip-on-Glass (COG). Мініатюрні світлодіоди монтуються на спеціальній основі у якості якої у дорогих моделях використовуються штучний сапфір, а для економного класу застосовується спеціальне скло.

Кожен світловипромінювальний елемент – філамент, являє собою стрижень, що має в діаметрі близько 1,5 мм, а його довжина не перевищує 3 см. Абсолютна прозорість основи дозволяє забезпечити рівномірне світіння, спрямоване на всі боки, аналогічно нитці розжарювання.

Світлодіоди розміщують на основі та з'єднують послідовно. Як правило на кожному філаментні встановлюється 28 світлодіодів, що випромінюють синє світло. Для додання теплого відтінку випромінювання лампи інколи встановлюють кілька червоних діодів. Але загальна їх кількість все одно дорівнює 28.

Потужність одного філамента не перевищує 1,3 Вт. Але при цьому технологія дозволяє набрати необхідну кількість елементів, щоб підвищити показники потужності приладу. У колбі може міститися до 16 філаментів.

Незважаючи на невелику потужність, кожен філамент досить ефективний завдяки люмінофорному покритті на силіконовій основі. Для відведення тепла від світлодіодів колбу наповнюють спеціальним газом, що має високу теплопровідність.

Важливою перевагою філамента в порівнянні з традиційними світлодіодними матрицями є те, що для рівномірного розподілу світла в усі сторони не потрібно використовувати складну оптичну систему, що вносить великі втрати. Це забезпечує високу світлову ефективність лампи.

Потужність, що підводиться до філаменту, в 1,5 рази вище, ніж до традиційної світлодіодної матриці, при рівному значенні світлового потоку.

Перші філаментні лампи були створені у 2008 році японською компанією Ushio, які спочатку використовувалися лише для декоративних цілей, оскільки їх світловий потік був недостатній для загального освітлення. Прорив стався в 2013 році, коли кілька китайських компаній одночасно представили потужні лампи для загального освітлення, еквівалентні по світловому потоку лампам розжарювання потужністю до 60 Вт.

На сьогоднішній день максимальні значення параметрів серійних зразків філаментних ламп зі звичайною колбою типорозміру А60, з колірною температурою 2700 К наступними:

- світловий потік – 980 лм (відповідає лампі розжарювання потужністю 85 Вт);
- світловіддача всієї лампи – 116 лм/Вт (деякі виробники заявляють про значення до 150 лм/Вт);
- термін служби – 30 000 годин;
- можливість роботи із стандартними світлорегуляторами (димерами).

Слід зазначити, що випускаються філаментні лампи зі сферичною колбою діаметром 95 мм, що має більшу площу поверхні, ніж колба А60. Це забезпечує краще тепловідведення, що дозволяє досягти світлового потоку 1500 лм.

До одного філаменту підводиться напруга близько 100 В. Тому всі лампи розраховані на живлення від промислової мережі. Низьковольтні моделі (наприклад, 12 В) не виробляються. Філаментні лампи випускаються із патронами Е27 і Е14, а також байонетного типу.

До переваг філаментних ламп відноситься:

- повна сумісність як по конструкції так по світловим характеристикам із світильниками, розрахованими на лампи розжарювання;
- висока світловіддача, обумовлена відсутністю оптичної системи для рівномірного розподілу світла в різні боки;
- можливість зниження собівартості виробництва за рахунок використання вже наявних потужностей з виробництва ламп розжарювання;
- зменшення рівня психологічного бар'єру при використанні світлодіодного освітлення в побуті.

До недоліків даних ламп відноситься:

- мале місце під драйвер, внаслідок чого використовуються або драйвера спрощеної конструкції з високим коефіцієнтом пульсації, або драйвера з високим ступенем мініатюризації без пульсації, які коштують дуже дорого;
- історія практичного застосування даного типу ламп для загального освітлення налічує лише кілька років, тому ще немає достовірної статистики про реальну надійність;
- для даних ламп є принциповим використання скляної колби, що призводить до зменшення механічної міцності – філаменту лампу можна розбити, внаслідок чого вона вийде з ладу.

1.3 Лабораторно-практичне завдання

1. Ознайомитися із основними типам електричних ламп, принципами їх функціонування та технічними характеристиками, відповідно до п. 1.2. При виконанні цього пункту також доцільно використовувати додаткові джерела інформації (книжки, статті у журналах, рекламні матеріали, тощо). При вивченні матеріалів особливу увагу слід приділити сферам та межах застосування різних типів ламп та світильників.

2. Обрати світлодіодні лампи або світильники на основі світлодіодних ламп для заміни існуючих світильників (Таблиця 1.1).

3. Визначити енергетичну та економічну ефективність заміни існуючих ламп на світлодіодні, визначити термін окупності зазначеної заміни. При визначенні даних показників слід враховувати можливість щорічного підвищення тарифів на електроенергію на 10% щорічно.

Таблиця 1.1 – Вхідні дані до лабораторної роботи

Номер бригади	Область	Світильники	Кількість годин роботи, N_r
1	Вінницька	BS-02/18	12
2	Волинська	BS-010/28	12
3	Дніпропетровська	BS-01/36	12
4	Житомирська	BS-02/2x18	12
5	Запорізька	FLF-34/2x28	12
6	Івано-Франківська	BS-02/2x36	12
7	Кіровоградська	ЛПО 4x18	12
8	Львівська	ЛПО-4x28	12
9	Миколаївська	ЛПО 4x36	12
10	Полтавська	DL-02 AB/2x26W	2
11	Рівненська	BS-02/18	2
12	Сумська	BS-010/28	2
13	Харківська	BS-01/36	2
14	Херсонська	BS-02/2x18	2
15	Хмельницька	FLF-34/2x28	2

1.4 Умови виконання та захисту роботи

Перед виконанням роботи студент отримує у викладача назву номера варіанта для якого необхідно виконати роботу. Під час планового заняття цей номер, як правило, відповідає номеру бригади. У випадку коли робота виконується студентом самостійно (наприклад, коли студент був відсутній на занятті) викладач назначає номер варіанту із таблиці (Таблиця 1.1) на власний розсуд.

Робота вважається виконаною у випадку були виконані усі необхідні виміри. Викладач має право перевірити та попросити студента пояснити походження того чи іншого значення. У випадку сумнівів у коректності даних робота вважається невиконаною і студент повинен її переробити.

Якщо викладач вважає, що робота виконана у повному обсязі він ставить відповідну відмітку у протоколі.

До захисту допускаються студенти з протоколом, оформленим відповідно до вимогам до даної роботи.

Захист роботи відбувається письмово шляхом вирішення тестового білет або за допомогою електронної системи тестування. Під час захисту студент повинен відповісти на 5 питань п.1.5. За кожну правильну повну відповідь на питання студенту нараховується 20 балів. За неповну відповідь – 5...15 балів (залежно від ступеню повноти). За неправильну відповідь або у разі відсутності відповіді бали не нараховуються. Робота вважається захищеною у випадку, коли студент набрав не менше 60 балів.

Під час захисту роботи студент може користуватися лише своїм протоколом, калькулятором та довідковими даними (видається викладачем).

1.5 Контрольні питання

1. У яких одиницях вимірюється світловіддача?
2. Які типи ламп існують (не існують)?
3. Для яких типів ламп потрібен (не потрібен) ПРП?
4. Чому приблизно дорівнює термін роботи (*тип лампи*) ламп?
5. У світильнику встановлені лампи певного типу (*тип ламп*). На які типи ламп їх можна замінити для зменшення споживання енергії?
6. Яку кількість світла буде отримано від лампи, що має світловіддачу (*значення*) та потужність (*значення*)?
7. Яку якість електричної енергії споживає лампа потужністю (*значення*), за період часу (*значення*) якщо вона працює (*значення*) годин на добу?
8. Чому дорівнює повна потужність (активна, реактивна потужність, коефіцієнт потужності) світильника що має (*кількість*) ламп потужністю (*значення*) та ПРП з ККД (*значення*) та коефіцієнтом потужності (*значення*)?
9. Яку кількість електричної енергії за (*кількість днів*) споживає світильник що має (*кількість*) ламп потужністю (*значення*) та ПРП з ККД (*значення*), що працює (*кількість годин*) на добу?
10. Система освітлення містить (*кількість*) світильників, що містять (*кількість*) ламп потужністю (*значення*) та світловіддачею (*значення*) та ПРП з ККД (*значення*) та коефіцієнтом потужності (*значення*). Яку кількість коштів можна заощадити за (*термін роботи*), якщо замінити їх на світлодіодні із світловіддачею (*значення*) та вбудованим ПРП з ККД (*значення*), та коефіцієнтом потужності (*значення*) якщо тарифи на активну потужність дорівнює (*значення*), на реактивну (*значення*), а світильники працюють (*значення*) годин на добу?

1.6 Методика виконання роботи

1. За назвою моделі світильника слід у відкритих джерелах, наприклад мережі Інтернет, знайти його технічні характеристики. Знайдені характеристики занести у протокол. Для даного світильника слід визначити:

- модель світильника;
- тип ламп та їх технічні характеристики;
- споживану потужність, P_1 ;
- світловий потік, Π_1 ;
- ціну, Π_1 ;
- габаритні розміри (форм-фактор).

Якщо споживана потужність світильника або світловий потік не вказаний, його можна знайти через технічні характеристики ламп (як правило, типи ламп завжди вказуються):

$$\begin{aligned} P_1 &= N_{\text{л}} P_{\text{л}}, \\ \Pi_1 &= N_{\text{л}} \Pi_{\text{л}}; \end{aligned} \quad (1.1)$$

де $P_{\text{л}}$, $\Pi_{\text{л}}$ – відповідно, потужність та світловий потік лампи, що використовується у світильнику; $N_{\text{л}}$ – кількість ламп у світильнику.

У даній роботі у розрахунках ККД пускорегулювального пристрою не враховується (вважається, що ККД та коефіцієнт потужності пускорегулювального пристрою дорівнюють 1).

2. У відкритих джерелах слід знайти еквівалентний світлодіодний світильник. Світлодіодний світильник повинен мати:

- ті ж самі габаритні розміри;
- той же самий світловий потік (допускається розбіжність не більше 10%).

У деяких випадках достатньо замінити лише лампи без заміни арматури світильника (можливо з відключенням ПРП). У цьому випадку слід заново обчислити характеристики нового світильника за формулами (1.1).

Технічні характеристики нового світильника слід записати у протокол:

- модель світильника;
- тип ламп та їх технічні характеристики;
- споживану потужність, P_2 ;
- світловий потік, Π_2 ;
- ціну, Π_2 ;
- габаритні розміри (форм-фактор).

3. Після цього визначається різниця потужності двох світильників:

$$\Delta P = P_1 - P_2. \quad (1.2)$$

Величина ΔP повинна бути додатною. У іншому випадку слід обрати іншу модель світлодіодного світильника.

4. Визначаємо вартість заміни світильників. Вважається що світильники вже встановлені та працюють. Тому вартість заміни світильників визначаємо як:

$$B = \Pi_2. \quad (1.3)$$

У випадку, якщо замінюються тільки лампи, а світильник залишається тим самим, то вартість заміни обчислюється за наступною формулою:

$$B = N_{\text{л}} C_{\text{л}2}; \quad (1.4)$$

де $C_{\text{л}2}$ – ціна світлодіодної лампи.

5. Визначаємо тривалість роботи світильника за рік. Вважається, що світильники працюють $N_{\text{г}}$ годин на добу щодня (Таблиця 1.1). У цьому випадку час роботи світильника становить:

$$N_{\text{роб}} = N_{\text{д}} N_{\text{г}}; \quad (1.5)$$

де $N_{\text{д}} = 365$ – кількість днів у році.

6. Визначаємо кількість електричної енергії ΔW , що було заощаджено за рік:

$$\Delta W = \Delta P N_{\text{роб}}. \quad (1.6)$$

7. Із лабораторно-практичного завдання №1 визначаємо тарифи на електроенергію для вашого регіону, T_1 . У випадку, коли лабораторно-практичне завдання №1.1 не було виконано, або виконано для іншого варіанту (області) слід визначити тарифи на електроенергію для вашого варіанту, відповідно до методики виконання лабораторно-практичного завдання №1.1.

8. Визначаємо кількість коштів, заощаджених за перший рік:

$$K_1 = \Delta W T_1. \quad (1.7)$$

9. Якщо кількість заощаджених коштів більше вартості заміни світильників ($K_1 \geq B$), то розрахунки припиняються. У іншому випадку розрахунки продовжуються до тих пір доки не буде виконана умова:

$$\Sigma K \geq B. \quad (1.8)$$

де ΣK – загальна кількість заощаджених коштів за весь термін експлуатації нових світильників:

$$\Sigma K = \sum_{i=1}^{i \leq 5} \Delta W T_i. \quad (1.9)$$

При цьому, відповідно до завдання, слід враховувати можливе щорічне підвищення тарифів на 10%:

$$T_i = 1,1 T_{i-1}. \quad (1.10)$$

Якщо за 5 років умова (1.8) не буде виконана розрахунки слід перервати та вважати, що заміна ламп економічно не вигідна.

1.7 Зміст протоколу

1. Назва та мета роботи.
2. Результати дослідження та розрахунки
3. Висновки.
4. Місце для відміток про виконання та захист роботи (дата, фамілія, ініціали викладача, оцінка, підпис).
5. Додаткові матеріали, що можуть стати у пригоді під час захисту роботи (за вибором студента).

1.8 Приклад тестового білету

1. У яких одиницях вимірюється світловіддача?

а) лм	б) лм/Вт	в) кВт·год
г) Вт	д) Вт/лм	е) Немає правильної відповіді

Правильна відповідь: б

2. Для яких типів ламп потрібен (не потрібен) ПРП?

а) розжарювання	б) люмінесцентні	в) ГЛВТ
г) галогенні	д) світлодіодні	е) Немає правильної відповіді

Правильна відповідь: б, в, д

3. Яку кількість світла буде отримано від лампи, що має світловіддачу 150 Вт/лм та потужність 10 Вт?

а) 15 лм	б) 67 мЛм	в) 10 лм
г) 0,067 лм	д) 150 лм	е) Такого не може бути

Правильна відповідь: е

Пояснення: Світловіддача має розмірність лм/Вт.

4. 8. Чому дорівнює повна потужність світильника, що має 4 люмінесцентні лампи потужністю 18 Вт та ПРП з ККД 90% та коефіцієнтом потужності 0,6?

а) 72 ВА	б) 133 ВА	в) 18 ВА
г) 80 ВА	д) 0,13 кВА	е) Немає правильної відповіді

Правильна відповідь: в, д

Пояснення: Потужність ламп світильника: $\Sigma P_{\text{л}} = N_{\text{л}} P_{\text{л}} = 4 \cdot 18 = 72 \text{ Вт}$.

Активна потужність споживана світильником: $P = \Sigma P_{\text{л}} / \eta = 72 / 0,9 = 80 \text{ Вт}$.

Повна потужність $S = P / \cos \varphi = 80 / 0,6 = 133 \text{ ВА}$.

5. Яку кількість електричної енергії за 10 днів споживає світильник що має 4 лампи потужністю 18 Вт та ПРП з ККД 90%, що працює 5 годин на добу?

а) 3,6 кВт·год	б) 4 кВАР·год	в) 3,6 кВАР·год
г) 4 кВА·год	д) 4 кВт·год	е) Немає правильної відповіді

Правильна відповідь: д

Пояснення: Час роботи світильника $t = N_{\text{год}} N_{\text{днів}} = 5 \cdot 10 = 50 \text{ год}$.

Потужність ламп світильника: $\Sigma P_{\text{л}} = N_{\text{л}} P_{\text{л}} = 4 \cdot 18 = 72 \text{ Вт}$

Потужність світильника: $P = \Sigma P_{\text{л}} / \eta = 72 / 0,9 = 80 \text{ Вт}$.

Кількість спожитої енергії: $W = Pt = 80 \cdot 50 = 4 \text{ кВт} \cdot \text{год}$.

Відповіді студента

1 – б, д 0 балів (надана неправильна відповідь – д)

2 – а 0 балів (надана неправильна відповідь – а)

3 – е 20 балів (надана правильна відповідь)

4 – в 10 балів (надана неповна відповідь)

5 – д 20 балів (надана повна правильна відповідь)

Оцінка – 50 балів (робота не захищена).