

при низком качестве космических снимков получена относительно высокая точность опорной сети- до 0.5м.

4. Следует отметить, что используемый для съемки квадрокоптер не имел режима полета по заданному маршруту и съемка выполнялась в ручном режиме. Этот недостаток может быть устранен путем доработки программного обеспечения.

5. В целом, пробная аэрофотосъемка и последующая обработка дали положительный результат, который будет использован при дальнейших исследованиях.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Характеристика квадрокоптера Quadcopter DJI Phantom 2[Электронный ресурс]. – Режим доступа: kvadrokoptery.com.
2. Глотов В. Аналіз можливостей застосування безпілотних літальних апаратів для аерознімальних процесів / В. Глотов, А. Гуніна // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 14. – № 28. – С. 65–70.
3. Сечин А. Ю. Беспилотный летательный аппарат: Применение в целях аэрофотосъемки для картографирования / Сечин А. Ю., Дранин М. АС. // Ракурс. – 2011.
4. Скубиев С. И. Использование беспилотных летательных аппаратов для целей картографии // Тезисы X юбилейной междунар. науч.-техн. конф. «От снимка к карте: цифровые фотограмметрические технологии». Гаета, Италия, 2010.
5. Проценко М. М. Аналіз методів цифрової обробки відеозображень апаратурою безпілотного літального апарата / Проценко М. М. // Вісник ЖДТУ. – № 3. – Т. 1. – С. 67–72.
6. Professional Agisoft Photo Scan: Edition. Руководство пользователя [Электронный ресурс]. – Режим доступа: agisoft.com
7. Куліковська О. Є. Аналіз новітніх технологій у фіксуванні дорожньо-транспортних пригод у Криворізькому регіоні / О. Є. Куліковська, Ю. Ю. Атаманенко // Вісник Криворізького національного університету. – 2014. – № 37. – С. 172–177.

УДК 628.97

Леонов В.П.

Харківський національний університет будівництва та архітектури

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ПОРІВНЯННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ДЖЕРЕЛ СВІТЛА РІЗНИХ ПРИНЦИПІВ ДІЇ

Вступ. Економія електроенергії залишається однією з актуальних проблем для народного господарства України. Нещодавно створені енергоефективні джерела світла дозволяють у декілька разів зменшити споживання електроенергії для освітлення. В той же час населення нашої країни, та й значна доля інженерного складу ще недостатньо усвідомлено сприймає ситуацію в цій галузі, бо має небагато інформації про можливості та економічну доцільність використання новітніх джерел світла. Тут впливає недостатня роз'яснювальна робота, а скоріше повна її відсутність, та мізерна реклама у засобах масової інформації.

Енергозберігаючі лампи завжди були дорожче традиційних ламп розжарювання, тому що їх виробництво технологічно складніше: компактні люмінесцентні лампи (КЛЛ) мають вбудований електронний пускач, а у напівпровідникових джерел світла більш складна технологія виробництва. Та по ефективності ці джерела світла значно перевершують показники звичайної лампи розжарювання і швидко окупаються за рахунок економії енергії й довшого часу роботи.

Останні дослідження і публікації. Питання дослідження енергоефективності різних джерел світла в літературі частково висвітлено [1-3], та все ж воно потребує подальшого вивчення. Енергетичну ефек-

тивність K_{ef} джерела світла можна визначити шляхом віднесення випроміненої світлової енергії $W_{\text{св}}$ до спожитої електричної енергії $W_{\text{ел}}$, тобто

$$K_{\text{ef}} = \frac{W_{\text{св}}}{W_{\text{ел}}} \quad (1)$$

В цій роботі величину K_{ef} ми визначимо саме по співвідношенню світлової та витраченої електричної енергії на відміну від коефіцієнта економічної ефективності, в якому намагаються врахувати вироблену за час роботи світлову енергію до всіх вартісних витрат на роботу джерела світла [4].

Лампи розжарювання і в наш час широко використовуються у багатьох квартирах хоча і є малоефективним створінням минулого сторіччя. Їх недоліком є низька енергоефективність. Цей фактор спричинений самим принципом роботи лампи розжарювання, де працює теплове випромінювання. Його спектр описується формулою Планка, і з усього спектру лише біля 3 % променів припадає на видиму частину спектру. Залишок енергії, який розміщений поза видимою частиною спектру, має левову долю і тому лампа розжарювання працює скоріше як нагрівач повітря, а ніж як освітлювач.

Та це не єдиний недолік лампи розжарювання, вона ще має й короткий термін роботи – від 500 до 1000 год. Він обумовлений поступовим випаровуванням вольфрамової нитки розжарювання, та її перегоранням у кінцевому рахунку. У той же час лампа розжарювання має й деякі переваги – це простота конструкції та дешевизна. Ці переваги примушують конструкторів не відмовлятися від лампи розжарювання остаточно, а намагатися її вдосконалювати.

Галогенові лампи по суті справи є вдосконаленим варіантом лампи розжарювання. Вони мають найбільш якісну передачу кольорів. Галогенові лампи заповнюються парами галогенідів, бромом або хлором і ще в розрядну трубку може вводиться невелика гранула – амальгамна суміш ртуті з індієм або вісмутом.

Принцип роботи цих ламп побудований на галогеновому циклі, що сприяє відновленню вольфрамової нитки розжарю-

вання. Молекули вольфраму, що випаровуються зі спіралі, осідають на внутрішній поверхні скла лампи. Атоми галогеніду (бromу чи хлору) при зіткненнях зі стінками лампи з'єднуються з молекулами вольфраму і переводять їх у газ. Далі ця сполука рано чи пізно попадає на розжарену спіраль і її відновлює.

Для енергозбереження галогенові лампи мають інтерференційне покриття скляного корпусу, яке відбиває інфрачервоне випромінювання всередину на спіраль. Це дозволяє підтримувати температуру спіралі не за рахунок додаткового проходження струму, а за рахунок власної енергії вторинно відбитої всередину лампи. Для енергозбереження в галогенових лампах також створені подвійні скляні стінки, тобто всередині основної скляної колби розміщена ще одна, що захищає спіраль лампи від охолодження.

Компактні люмінесцентні лампи - це мініатюризований варіант давно відомих люмінесцентних ламп лінійної конструкції довжиною 0,4 – 1 м, які поширені у освітленні з 40-х років минулого сторіччя. КЛЛ представляє собою систему дугових трубок, заповнених інертним газом (аргоном, ксеноном) або парами ртуті. Випускаються КЛЛ 4 та 6 каналні, або можуть бути також одноканальні зі спіральною формою розрядної трубки. Певним недоліком КЛЛ, як і люмінесцентних лінійних ламп є використання пускового пристрою, що необхідний для початкового запуску газового розряду. Та прогрес у мікромініатюризації електроніки дозволив вирішити цю проблему і розмістити невеликий за розміром пускач у корпусі патрона КЛЛ.

Розрядна трубка зсередини вкрита шаром композитного люмінофора, який дає свічіння за спектром близьке до денного світла. Під дією напруги у КЛЛ виникає електричний розряд. Ультрафіолетове випромінювання, що утворюється при зіткненнях електронів з атомами інертного газу або парами ртуті, проходить крізь люмінофор, збуджує його молекули та створює видиме свічіння.

Світлодіодні лампи (СД), або LED (Light Emitted Diode) є найбільш перспективними джерелами світла [5-7], бо вони

мають масу переваг порівняно з джерелами світла, заснованими на інших принципах дії. Перед усім у них найвища енергоефективність серед інших джерел світла. Їх строк служби складає 50 000, за деякими оцінками може перевищувати й 100000 год (для КЛЛ 20 000 год), а ще для них характерне екологічно чистоте виробництво та легкість утилізації. Лампи цього типу можуть будуватись на одному або декількох світлодіодах.

Окремий світлодіод - це p-n перехід, тобто сплавлені між собою два напівпровідники на основі фосфіду галію або арсеніду галію (з різними додатками для одержання свічіння різного кольору). При підключенні до p-n переходу електричного поля електрони та дірки в матеріалах p- та n-типу рухаються до межі з'єднання напівпровідників. Коли надлишкові електрони переходять з матеріалу n-типу до матеріалу p-типу, то на межі напівпровідників відбувається рекомбінація електронів з дірками. В цьому процесі утворюються збуджені молекули, які й випромінюють кванти світла.

В процесі випромінювальної рекомбінації центрами свічіння можуть бути лише дірки. Електрон, що рекомбінує з дірковим атомом, приєднується до нього не відразу на валентний енергетичний рівень, а спочатку попадає на збуджений енергетичний рівень. Тільки подальший перехід електрона всередині атома із збудженого рівня на валентний рівень супроводжується випромінюванням кванта світла.

Причина високої енергоефективності світлових діодів полягає в тому, що в них не потрібно витратити енергію для нагрівання до високої температури поверхні, яка світиться. У світлодіодах відбувається майже пряме перетворення енергії електричного струму, тобто енергії поступального руху електронів (дірки залишаються на місці у вузлах кристалічної решітки), у енергію випромінювання квантів світла.

Отримані результати. В даній роботі описана експериментальна установка, що виготовлена на кафедрі фізики ХНУБА та методика експериментального порівняння енергоефективності джерел світла засно-

ваних на різних принципах дії. Для порівняння використовувались 4 джерела світла: 1) лампа розжарювання; 2) галогенова лампа; 3) КЛЛ; 4) світлодіодна лампа.

Для знаходження коефіцієнта енергоефективності K_{ef} потрібно визначити безпосередньо виникаючу величину світлової та витраченої електричної енергії, що складає певні труднощі. Тому в цій роботі використовується метод опосередкованого визначення K_{ef} . Обчислення цього коефіцієнта здійснюється шляхом віднесення не самих енергій, а шляхом віднесення пропорційних їм величин.

Електрична схема вимірювальної установки наведена на рис. 1. Для реєстрації світлової енергії $W_{cb} = \Phi_{cb} \cdot t$ (де Φ_{cb} – світловий потік, а t - час) використовується фотоопір ФСК-7А. Послідовно з ним ввімкнений зразковий опір ($R_3 = 11$ кОм). Збільшення світлового потоку зменшує величину фотоопору і збільшує струм через R_3 , а разом з тим і напругу на ньому U_{cb} . Тому $W_{cb} \sim \Phi_{cb} \sim I_{cb} \sim U_{cb}$.

Спожита джерелом світла електрична енергія складає $W_{el} = U \cdot I_{el} \cdot t$. Струм в колі живлення ми також реєструємо по величині напруги U_{el} на додатковому опорі $R_1 = 5,6$ Ом, що ввімкнено послідовно з працюючою лампою. Таким чином $W_{el} \sim R_{el} \sim I_{el} \sim U_{el}$. Тому цілком справедливо можна записати співвідношення для визначення коефіцієнта енергоефективності джерела світла

$$K_{ef} = \frac{U_{cb}}{U_{el}} \quad (2)$$

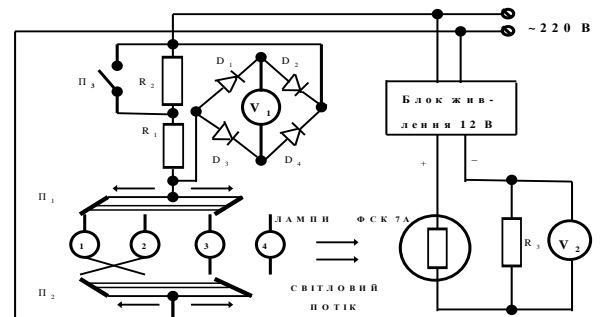


Рис. 1. Електрична схема експериментальної установки

В електричній схемі експериментальної установки, яка використовується в роботі (рис.1), може включатися 4 джерела

світла. Кожне з них засноване на своєрідному принципі дії і позначене номером 1,2,3,4. Це лампа розжарювання потужністю 50 Вт (1), галогенова лампа 50 Вт фірми DeLux (Китай) (2), компактна люмінесцентна одноканальна лампа зі спіральною трубкою на 10 Вт (виробник EUROLAMP) (3) і світлодіодна лампа на 4 Вт (виробник MAXUS Китай) (4). Галогенова, КЛЛ та СД лампи за створюваним світловим потоком по паспортних даних еквівалентні лампі розжарювання на 50 Вт. Тобто всі 4 лампи дають приблизно однаковий світловий потік. Лампи розжарювання номіналом 50 Вт не випускаються, тому довелось використати 2 лампи на 40 і 60 Вт, вмикати їх по чергово і взяти середні значення $U_{ел}$ та $U_{св}$, які б відповідали лампі на 50 Вт.

Напруга живлення подається на лампи від мережі 220 В, через невеликі опори $R_1 = 5,6$ Ом та $R_2 = 7,7$ Ом. За напругою на цих опорах можна контролювати струм, що протікає через лампи і також споживану ними енергію. В схемі використано вольтметр постійного струму V_1 , тому напруга на нього подається через міст випрямлення побудований на діодах $D_1 - D_4$. При включенні ламп 1-3 перемикач Π_3 має бути включений. При цьому струм на лампи протікає лише через опір R_1 .

Світлодіодна лампа (Л4) споживає набагато менший струм і величина опору $R_1 = 5,6$ Ом є недостатньою, щоб виміряти на ньому напругу, бо вона дуже мала. В цьому випадку необхідно розімкнути перемикач Π_3 . Тоді послідовно з лампою включаються опори $R_1 + R_2 = 5,6 + 7,7 = 13,3$ Ом, а вольтметр V_1 буде показувати сумарну напругу на цих опорах. Виміряну для СД лампи напругу приводимо до попереднього масштабу напруги за перерахунковою формулою:

$$U_1 = U_2 \times 0,421. \quad (3)$$

Пояснення величини перерахункового коефіцієнта витікає із співвідношення опорів $R_1 / (R_1 + R_2)$ відповідно до наступних міркувань. Величина напруги є пропорційною величині опору (на якому вона падає). $U_1 = I_1 R_1$, а $U_2 = I_2 (R_1 + R_2)$. Оскільки опори R_1 та R_2 дуже малі, порівняно з опором ввімкненої послідовно з ними світлодіодної лампи, то струм в обох випадках

можна вважати однаковим ($I_1 = I_2$). І тоді $U_1 / R_1 = U_2 / (R_1 + R_2)$, звідки $U_1 = U_2 \times R_1 / (R_1 + R_2) = U_2 \times 5,6 / (5,6 + 7,7) = U_2 \times 0,421$, де U_2 – напруга, виміряна при розімкненому Π_3 .

Для реєстрації світлового потоку від джерел світла використовується права сторона схеми. Фоточутливим елементом використано сірково-кадмієвий фотоопір ФСК-7А, який має високу чутливість саме у видимій частині спектру [8]. Його опір має лінійну залежність зменшення від величини падаючого світлового потоку. Оскільки при освітленні опір ФСК-7А зменшується, то струм через нього збільшується і величина напруги (що вимірюється на опорі R_3 вольтметром V_2), також збільшується. Це дозволяє співставляти світлові потоки, що створюються різними лампами.

Всі елементи експериментальної установки змонтовані в одному металевому корпусі (Рис. 2). Чотири джерела світла: лампа розжарювання, галогенова, КЛЛ та світлодіодна розміщені всередині корпусу на одній його стороні симетрично по кутах правильного чотирикутника на відстані 23 см від фотоопору ФСК -7А, що закріплений на протилежній внутрішній стороні корпусу. Обираючи натиснуте чи відтиснуте положення перемикачів Π_1 та Π_2 , можна поставити їх так, щоб була ввімкнена одна з необхідних ламп. Вимірювання напруги на вольтметрах V_1 та V_2 проводимо через 10 хв після ввімкнення чергового джерела світла. Такий час є достатнім, щоб відбулось розгоряння джерела світла і закінчення перехідних процесів. Шляхом розрахунків визначаємо коефіцієнти енергоефективності досліджуваних джерел світла. Всі одержані експериментальні дані наведені в табл. 1.



Рис. 2. Загальний вигляд експериментальної установки

Таблиця 1 - Експериментальні дані

Тип лампи	$U_{ел},$ мВ	$U_{св},$ В	$U_{св}$ норм	$K_{эф}$	$K_{пер}$
Розжарювання	1,20	0,84	1	0,833	1,000
Галогенова	1,54	1,13	1,345	0,873	1,048
КЛЛ	0,25	0,46	0,547	2,188	2,626
Світлодіодна	0,084	0,58	0,690	8,214	9,860

Спочатку знаходимо нормалізоване значення $U_{св}$ для $L_1 - L_4$. Для цього $U_{св}$ для лампи розжарювання приймається за 1, а для інших ламп нормалізоване $U_{св}$ знаходимо шляхом поділення їх $U_{св}$ на $U_{св}$ лампи розжарювання.

Коефіцієнт енергоефективності всіх чотирьох ламп розраховуємо за формулою $K_{эф} = \frac{U_{св.норм}}{U_{ел}}$. Далі визначаємо пере-

вищення коефіцієнта енергоефективності галогенової, КЛЛ та світлодіодної лампи над $K_{эф}$ лампи розжарювання шляхом віднесення їх коефіцієнтів енергоефективності за формулою $K_{пер} = \frac{K_{гал}}{K_{нак}}$. Він показує

у скільки разів відповідна лампа ефективніша за лампу розжарювання.

Висновки. З останньої колонки таблиці видно, що галогенова, КЛЛ та СД лампи у створенні світла ефективніші за лампу розжарювання відповідно у 1,048; 2,626 та 9,856 разів. Галогенова лампа по енергоефективності майже однакова з лампою розжарювання. Тут позитивний ефект може складати лише довший термін роботи. КЛЛ дає як перевищення енергоефективності у 2,6 разів, так і збільшення у 20 разів терміну роюоти. Світлодіодна лампа дає

майже в 10 разів більшу енергоефективність, та у 50 – 100 разів більший термін роботи (порівняння терміну роботи береться за літературними даними). Одержані нами дані досить близько корелюють з опублікованими в роботі [2].

ЛІТЕРАТУРА:

1. Айзенберг Ю. Б. Как повысить эффективность освещения // Энергосбережение. – 2011. – С. 52–56.
2. Тарасенко М.Г. Комплексний підхід щодо визначення енергоефективності джерел світла / М.Г.Тарасенко, К.М.Козак // Світлотехніка та електроенергетика. – 2013. - № 1(33).- С.27-33.
3. Крымов В.А. Анализ экономических показателей полупроводниковых и традиционных источников света / А.В.Крымов, В.Д.Никитин // Светотехника.-2012.-№2. – С.64-65.
4. Тарасенко М.Г. Підходи до визначення корисної середньої тривалості світіння джерел світла // М.Г.Тарасенко, К.М.Козак, О.О.Шавьолкін, М.І.Бойко // Світлотехніка та електроенергетика. – 2015. - № 2(42).- С.11-16.
5. Мар'янчук П.Д. Джерела світла і приймачі оптичного випромінювання. – Чернівці: ЧНУ, - 2013. – 216 с.
6. Светодиодные модули Citizen Electronics – новое слово в освещении. Современная светотехника. – 2014. - №4(30). – С.12-13.
7. Назаренко Л.А. Светодиодные источники света в установках наружного освещения улиц в условиях сумеречного диапазона / Л.А.Назаренко, Т.В.Мироненко // Світлотехніка та електроенергетика. – 2014. - № 2(38). – С. 18-27.
8. Павлов А.В., Черников А.И. Приемники излучения автоматических оптико-электронных приборов. – М.: Энергия. 1972.- 240 с.