

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ
ІВАНА ПУЛЮЯ

КОЗАК КАТЕРИНА МИКОЛАЇВНА

УДК 628.9:621.311.1.004.183

**СИСТЕМНИЙ ПІДХІД ДО ОЦІНКИ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ
ДЖЕРЕЛ СВІТЛА ТА ОСВІТЛЮВАЛЬНИХ УСТАНОВОК**

05.09.07 – світлотехніка та джерела світла

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Тернопіль – 2014

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник доктор технічних наук, професор
Карпінський Микола Петрович,
професор кафедри "Комп'ютерних наук"
Тернопільського національного технічного
університету імені Івана Пулюя

Офіційні опоненти доктор технічних наук, професор
Кожушко Григорій Мефодійович,
професор кафедри товарознавства та
експертизи непродовольчих товарів ВНЗ
Укоопспілки Полтавського університету
економіки і торгівлі

кандидат технічних наук, доцент
Степура Володимир Ілліч
начальник науково-технічної лабораторії
КП «Київміськсвітло»

Захист відбудеться " 25 " _____ грудня 2014 р. о 13:00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 58.052.04 при Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя МОН України за адресою: 46008, м. Тернопіль, вул. Білогірська, 50, корп. 10 (зал засідань).

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя МОН України за адресою: 46001, м. Тернопіль, вул. Руська, 56.

Автореферат розісланий " ____ " _____ 2014 р.

*Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради
К 58.052.04, к.т.н., доц.*

Коваль В.П.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Сучасний період розвитку людства здебільшого характеризують через три «Е»: енергетика, економія та екологія. Енергетика в цьому переліку займає особливе місце, вона є визначальною як для економіки, так і для екології. В теперішній час у масштабах планети на освітлення використовується близько 19 % від загального виробництва електроенергії. Найбільш вагомими за використанням електроенергії для освітлення на сьогодні є житловий сектор (28 %) і сектор обслуговування (48 %), що вказує на необхідність першочергової уваги до них в плані підвищення енергоефективності.

Питаннями підвищення енергоощадності освітлювальних установок, розробкою методів оцінки енергоефективності, дослідження електричних, світлотехнічних та експлуатаційних характеристик теплових, розрядних і напівпровідникових джерел світла займалися такі вчені: Кунгс Я.А., Айзенберг Ю.Б., Кожушко Г.М., Тарасенко М.Г., Пилипчук Р.В., Shen M, Peng F. та ін.

Незважаючи на це, низка питань так і залишилася не до кінця вирішеною, а саме: *процес формування* основних параметрів енергоефективності джерел світла (ДС); *розроблення* системного підходу щодо визначення енергоефективності джерел світла; *динаміка* номінальних світлових віддач у процесі зростання потужності для всіх типів джерел світла; *динаміка* електричних і світлотехнічних параметрів прямих люмінесцентних ламп з різними геометричними параметрами при поступовій зміні частоти напруги живлення; *динаміка* електричних, світлотехнічних та експлуатаційних параметрів у процесі розгорання, регулювання світлового потоку та стаціонарної експлуатації існуючих типів теплових, розрядних (низького і високого тиску) та напівпровідникових джерел світла; *визначення* меж регулювання світлового потоку з точки зору енергоефективності; *розроблення* концепції конструктивного виконання безблискісних світлодіодних світильників.

Саме це і зумовило **актуальність** проведення робіт, спрямованих на: а) *встановлення* залежності номінальних світлових віддач від номінальних потужностей джерел світла; б) *дослідження* впливу геометричних параметрів люмінесцентних ламп на електричні і світлотехнічні характеристики при поступовій зміні частоти напруги живлення; в) *розроблення* системного підходу до оцінки енергоефективності джерел світла на етапі їх вибору при реалізації проектів освітлення; г) *дослідження* енергоефективності регулювання світлового потоку джерел світла; д) *розроблення* концепції конструктивного виконання безблискісних світлодіодних світильників.

Зв'язок із науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота є наслідком досліджень, які проводилися на спеціалізованому обладнанні у лабораторіях ТОВ «ОСП Корпорація ВАТРА» та Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя і є складовою частиною науково-дослідної теми: «Вплив динаміки експлуатаційних параметрів на енергоефективність джерел світла» (0113U000248).

Роль автора у виконанні вказаних робіт полягає в розробці системного підходу до оцінки енергоефективності джерел світла та освітлювальних устано-

вок, визначенні напрямків теоретичних, експериментальних і прикладних досліджень, особистій участі в постановці та вирішенні поставлених задач, обробці та узагальненні результатів досліджень.

Мета й задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є розробка системного підходу до оцінки енергоефективності джерел світла та освітлювальних установок. Для досягнення вказаної мети в роботі вирішувались наступні задачі:

1. Аналіз сучасного стану досліджень динаміки електричних, світлотехнічних та експлуатаційних параметрів джерел світла в процесі експлуатації і регулювання світлового потоку та методів оцінки енергоефективності освітлювальних установок, побудованих на їх основі.

2. Встановлення математичних залежностей номінальних світлових віддач від номінальних потужностей для існуючих типів джерел світла.

3. Розробка методики для визначення реалістичних значень можливих змін номінальних світлових віддач (зростання або падіння) зі зростанням номінальних потужностей джерела світла.

4. Дослідження впливу геометричних параметрів люмінесцентних ламп (діаметра і довжини) на їх електричні та світлотехнічні характеристики при поступовій зміні частоти напруги живлення.

5. Розробка системного підходу до оцінки енергоефективності джерел світла на етапі їх вибору при реалізації проектів освітлення в усіх сферах людської діяльності (комерційній, побутовій, промисловій тощо), спираючись на задекларовані виробником номінальні параметри (потужність, світлову віддачу та середню тривалість світіння) в залежності від режимів експлуатації, цін на світлотехнічну продукцію та діючих тарифів на електроенергію.

6. Дослідження енергоефективності регулювання світлового потоку джерел світла та освітлювальних установок з точки зору системного підходу з урахуванням дії основних збурювальних факторів для встановлення діапазонів напруг (струмів), в яких регулювання світлового потоку є найбільш вигідним.

7. Побудова математичних моделей електричних та світлотехнічних параметрів напівпровідникових джерел світла, придатних для визначення їхньої енергоефективності в процесі регулювання світлового потоку.

8. Дослідження динаміки електричних, світлотехнічних та експлуатаційних параметрів джерел світла в процесі експлуатації та від моменту ввімкнення до переходу в усталений режим.

9. Створення методики визначення оптимального номінального значення струму, розроблюваних світлодіодних світлотехнічних виробів з точки зору забезпечення необхідної величини середньої тривалості світіння.

10. Розробка концепції конструювання безблискісних світлодіодних світильників.

Об'єкт дослідження – процес формування основних параметрів енергоефективності джерел світла.

Предмет дослідження – параметри джерел світла та режимів експлуатації як взаємопов'язаних елементів освітлювальних установок

Методи дослідження. Поставлені задачі вирішувались на основі:

а) теоретико-експериментальних досліджень перехідних процесів та усталених режимів експлуатації теплових, розрядних та напівпровідникових джерел світла; б) системного та статистичного аналізу в середовищі *Microsoft Office Excel* та програмі *Advanced Grafer* для визначення коефіцієнтів інтерполяційних моделей; в) планування експериментальних робіт та оброблення отриманих результатів із використанням методів математичної статистики.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в обґрунтуванні та вирішенні важливої науково-технічної задачі підвищення адекватності оцінки енергоефективності джерел світла на основі одночасного врахування множини збурювальних факторів, які суттєво впливають на їхні якісні та кількісні параметри в складі освітлювальних установок в процесі експлуатації. При цьому одержано такі наукові результати:

1. Уперше встановлено математичні залежності номінальних світлових віддач ($H_{\text{л.ном}}$) від номінальних потужностей ($P_{\text{л.ном}}$) для існуючих джерел світла.

2. Уперше запропоновано системний підхід до визначення енергоефективності джерел світла та ОУ з точки зору питомої вартості одиниці світлової енергії, виробленої джерелом світла за середню тривалість його світіння.

3. Доведено, що найкращими з точки зору енергоефективності експлуатації ДС в процесі регулювання світлового потоку є ті значення напруги для теплових і струму для напівпровідникових джерел світла, для яких характерні не тільки найменші значення нормованої питомої вартості одиниці світлової енергії, але й виробляється максимальна її кількість.

4. Побудована математична модель електричних та світлотехнічних параметрів напівпровідникових джерел світла у вигляді системи рівнянь, що дало можливість визначення їхньої енергоефективності в процесі регулювання світлового потоку.

5. Встановлено, що світловипромінюючі діоди є єдиним з існуючих джерел світла, у яких в процесі розгорання відбувається падіння як світлового потоку, так і світлової віддачі, а при димеруванні – зростання світлової віддачі.

6. Доведено, що динаміка перехідного процесу спаду світлового потоку напівпровідникових джерел світла від моменту ввімкнення до переходу в усталений режим з достатньою для практики точністю описується різницею падаючої і зростаючої експоненціальних функцій з різними за величиною сталими часу та сталими інтегрування.

7. Доведено, що спад світлового потоку під час перехідного процесу від моменту вмикання до переходу в усталений режим у межах до 10 % вказує на те, що при такому тепловому режимі світлотехнічного виробу середня тривалість світіння світлодіодів буде близькою до заявленого у нормативно-технічній документації номінального значення. Перевищення 10 %-ного значення спаду світлового потоку свідчить про наднормативний перегрів $p-n$ переходу світлодіодів, при якому як світлова віддача, так і середня тривалість світіння будуть нижче заявлених.

8. Запропоновано методику визначення оптимального значення номінального струму, розроблюваних світлодіодних світлотехнічних виробів з точки зору забезпечення необхідної величини середньої тривалості світіння, на основі

дослідження залежності відносного спаду світлового потоку від струму з моменту ввімкнення до переходу в усталений режим.

Практичне значення одержаних результатів. Ґрунтуючись на результатах експериментальних досліджень, теоретичних узагальнень і розробок, вирішено задачі, які мають важливе народногосподарське значення:

1. Сформульовано рекомендації щодо енергоефективності регулювання світлового потоку джерел світла (без врахування і з врахуванням втрат потужності в пускорегулювальній апаратурі, вартості спожитої комплектом ДС+ПРА електроенергії та спаду світлового потоку ДС $F(t)$ в процесі експлуатації) із визначенням діапазону напруг (струмів), в якому воно є найбільш вигідним. Для напівпровідникових ДС характерне постійне близьке до експоненціального закону зростання енергоефективності їхньої експлуатації при збільшенні кратності регулювання світлового потоку аж до повного погасання. Врахування втрат в ПРА, вартості спожитої комплектом ДС+ПРА електроенергії та спаду світлового потоку ДС в процесі експлуатації при розрахунках помітно впливає лише на хід залежностей для дешевих (теплових) джерел світла.

2. Запропоновано методику для визначення реалістичних значень можливих змін номінальних світлових віддач (зростання або падіння) з ростом номінальних потужностей джерел світла.

3. Запропоновано системний підхід до оцінки енергоефективності джерел світла та ОУ на етапі їх вибору при реалізації проектів освітлення.

4. Визначено результати впливу електричних, світлотехнічних та експлуатаційних характеристик на енергоефективність джерел світла.

5. Запропоновано концепцію конструювання безблискісних світлодіодних світильників, яка ґрунтується на багатокомпонентності: переході від категорії «лампа» до категорії «освітлювальний прилад», від потужних до мало- та середньопотужних світлодіодів з перенаправленням їхніх світлових променів за допомогою відбиваючих систем та вторинної лінзової оптики таким чином, щоб осередки надяскравості не виникали.

6. Доведено, що автомобільні дороги найкраще освітлювати золотисто-жовтим світлом РЛВТ типу ДНаТ, а пішохідні переходи одночасно РЛВТ типу ДНаТ і спеціалізованими світлодіодними освітлювальними приладами, що дасть можливість знизити число дорожньо-транспортних пригод з участю пішоходів.

Особистий внесок здобувача в отриманні наукових результатів. У поданій роботі викладено основні результати досліджень, отримані автором самостійно. У роботах, виконаних у співавторстві, автору належить: у [1] – ідея, експериментальні дослідження, аналіз результатів та виведення основних математичних співвідношень; у [2] – аналіз фактичних даних та розробка системного підходу до оцінки енергоефективності джерел світла за питомою вартістю одиниці світлової енергії; у [3] – розробка методики проведення експерименту, обробка отриманих результатів, формулювання висновків; у [4] – ідея, виведення основних математичних залежностей; у [5] – опис і формула на корисну модель; у [6] – розробка методики проведення експерименту, експериментальні дослідження, висновки.

Апробація результатів дисертації. Основні положення та результати дисертаційної роботи оприлюднені та обговорені на: XVI науковій конференції Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя (Тернопіль, 5-6 грудня 2012 р.); V Міжнародній науково-технічній конференції в рамках Светотехнического международного форума «LEDLIGHT”2013» «Современные тенденции развития светотехники» (Харьков, 15-16 мая 2013 г.); XVII науковій конференції Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя (Тернопіль, 20-21 листопада 2013 р.); Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» (Тернопіль, 11-12 грудня 2013 р.).

Публікації. Результати наукових досліджень викладені у 10 наукових працях, з яких 5 статей у фахових журналах, що входять до Переліку, затверджені наказами МОН та постановами президії ВАК України (у тому числі 2 статті у закордонних фахових виданнях у Білорусії та Польщі), 4 тези доповідей на міжнародних науково-технічних конференціях та 1 патент на корисну модель.

Структура і обсяг роботи. Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел із 208 найменувань на 19 сторінках та 4 додатків. Загальний обсяг дисертації становить 200 сторінок, з них 150 основного тексту, 54 рисунка та 19 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету та основні задачі досліджень, показано зв'язок із науковими програмами, планами, темами, сформульовано наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, наведено дані про особистий внесок здобувача, публікації, апробацію та впровадження результатів роботи.

Перший розділ «Аналіз сучасного стану впливу електричних, світлотехнічних та експлуатаційних параметрів джерел світла на їх енергоефективність» носить оглядово-аналітичний характер і висвітлює основні тенденції по досліджуваним проблемним питанням. Підкреслено, що основою ефективної енергетичної політики сучасності повинні стати: енергобезпека, енергоефективність, енергозбереження та екологічна гармонізація суспільного розвитку.

Незважаючи на великі досягнення в світлотехнічній галузі, глобальний за масштабами попит на штучне освітлення ще далекий до насичення. Тому треба створювати умови для активнішого впровадження високоефективних ДС. Радикального збільшення енергоефективності освітлювальних установок (ОУ) можна досягнути не тільки за рахунок зменшення загальної встановленої потужності шляхом переходу на високоефективні ДС, але й за рахунок зниження загального споживання енергії на основі впровадження інтелектуальних систем управління освітленням.

Підкреслено, що в Україні відсутня науково-обґрунтована концепція щодо енергоефективних зон та методів управління ОУ в залежності від їх призначення. Обмежена також і кількість публікацій та комплексних порівняльних досліджень

характеристик звичайних Т12, енергоефективних Т8, тонких Т5, та супертонких Т2 люмінесцентних ламп (ЛЛ) на високих частотах, що не дає можливості оцінити доцільність їх використання в електричних мережах промислової частоти 220-230 В. При застосуванні існуючих способів димерування світлового потоку ДС не враховується вплив змін таких важливих параметрів як електромагнітна сумісність, коефіцієнт потужності та коефіцієнт пульсації світлового потоку на енергоефективність, що часто призводить до дискредитації процесу як такого.

З появою напівпровідникових ДС, яким притаманні не тільки високі світлові віддачі та середня тривалість світіння, але й велика ціна, виникла необхідність у розробленні системного (з точки зору сукупності показників), підходу до оцінки енергоефективності ДС та освітлювальних установок на їх основі.

В результаті аналізу літературних джерел розкрито стан і суть наукової проблеми, виокремлено низку завдань вирішення яких потребує відповідних теоретичних та експериментальних досліджень.

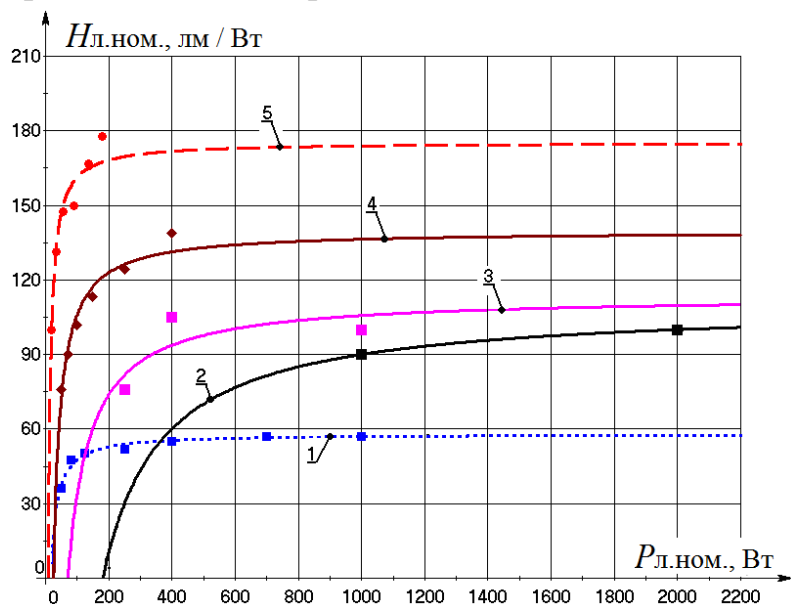


Рис. 1. Залежність номінальних світлових віддач ($H_{л.ном.}$) від номінальних потужностей ($P_{л.ном.}$) для РЛБТ: 1 – ртутні лампи HQL (STANDART) (ДРЛ); 2 – метало-галогенні лампи з кварцовим пальником POWER-STAR HQI-TS без зовнішньої колби для закритих світильників; 3 – метало-галогенні лампи з кварцовим пальником POWERSTAR HQI-E, прозорі з покриттям; 4 – натрієві лампи високого тиску VIALOX NAV-E SUPER 4Y (230 В, еліптична колба); 5 – натрієві лампи низького тиску SOX (для контрастного освітлення в тумані)

Для визначення конкретних значень можливих змін (збільшення або зменшення) світлових віддач з ростом номінальних потужностей ДС розроблена спеціальна методика. Суть цієї методики полягає у переході до нормованих залежнос-

У другому розділі
«Вплив електричних, спектральних, світлотехнічних та експлуатаційних параметрів на енергоефективність джерел світла» на основі проведених експериментальних досліджень побудовано графічні залежності номінальних світлових віддач від номінальних потужностей для всіх типів ДС (рис. 1).

Аналіз графіків показав, що номінальні світлові віддачі ДС, незалежно від фізичних принципів їхньої дії, з ростом номінальної потужності змінюються за одним і тим самим законом – гіперболічним. Для більшості – це зростаючі гіперболи. І тільки для трьох типів ДС вони є падаючими.

тей світлових віддач від потужностей джерел світла (рис. 2). Чим вище отримана залежність проходить від горизонтальної прямої, проведеної через ординату 1, тим більше буде очікуване зростання світлової віддачі джерел світла і навпаки. Доведено, що реально досяжні значення світлових віддач джерел білого світла з високим індексом кольоропередачі ($R_a \geq 93$) знаходяться в межах від 118 до 131 лм/Вт.

При дослідженні впливу геометричних параметрів люмінесцентних ламп на динаміку електричних і світлотехнічних характеристик в процесі поступової зміни частоти напруги живлення з'ясувалося, що одночасне зменшення діаметру й струму призводить до суттєвого зростання градієнту потенціалу в позитивному стовпі розряду, обмежуючи можливості виготовлення потужних ЛЛ у зв'язку з суттєвим зростанням напруги на них. Так, напруга на тонкій ($d_{\text{тр}} = 16$ мм) ЛЛ TLD 35 ($U_{\text{л.ном}} = 205$ В), перевищує максимально допустиме значення $U_{\text{л}} \leq (0,65 \cdot U_{\text{м}} = 143$ В), обумовлюючи необхідність виготовлення спеціальних високовольтних електронних ПРА для них.

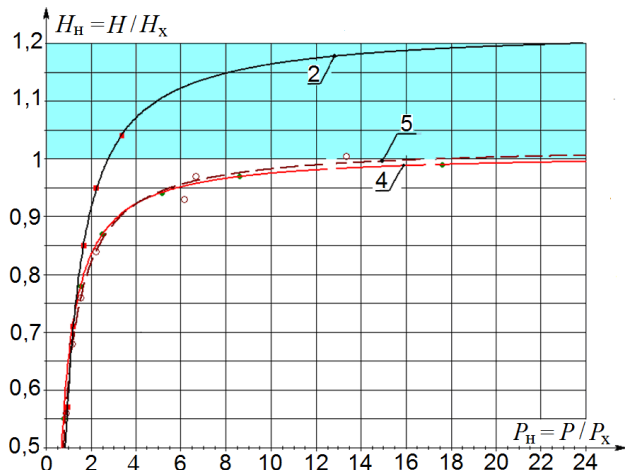


Рис. 2. Залежність нормованих світлових віддач від нормованих потужностей джерел світла для кривих 2, 4, 5 рис. 1

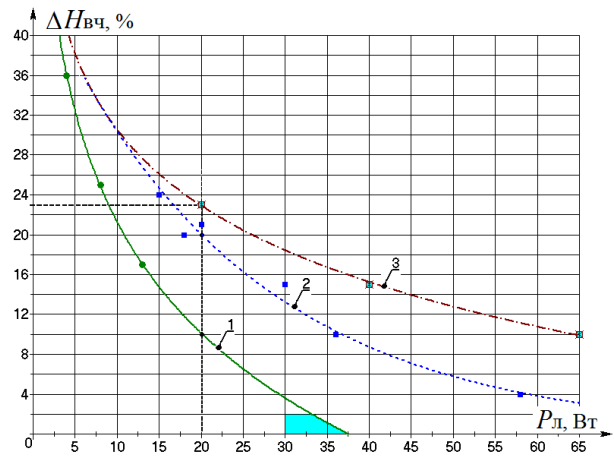


Рис. 3. Залежність приросту світлової віддачі ЛЛ на частотах ($f_{\text{м}} \geq 40$ кГц) від потужності і діаметра колби: 1 – $d_{\text{тр}} = 16$ мм; 2 – $d_{\text{тр}} = 26$ мм; 3 – $d_{\text{тр}} = 38$ мм

Найбільший приріст світлової віддачі при високочастотному живленні притаманний коротким ЛЛ з великим внутрішнім діаметром колби. Зменшення діаметру колби ЛЛ призводить до зникнення приросту світлової віддачі на високих частотах. Так, у ЛЛ з діаметром колби 16 мм приріст світлової віддачі для потужностей більших за 35 Вт дорівнює нулю (рис. 3). У супертонких ЛЛ ($d_{\text{тр}} = 7$ мм) приріст світлової віддачі відсутній для всіх потужностей.

У третьому розділі «Особливості характеристик джерел світла в стаціонарних та динамічних режимах експлуатації» отримані аналітичні залежності динаміки світлового потоку джерел світла в процесі експлуатації протягом СТС для всіх типів ДС. Аналіз існуючих і власних досліджень показав, що ці залежності, у разі якщо вони нормовані, ідентичні, і мають вигляд наведений на рис. 4. Різним для кривих є тільки кінцева величина спаду світлового потоку $\Delta F_{\text{н}}$. Вони добре описуються виразом (1) і дають можливість шляхом інтегру-

вання визначати кількість виробленої світлової енергії генерованої ДС за будь-який наперед заданий проміжок часу

$$F_n(t_n) = (F_{n,ном} - \Delta F_n) + \Delta F_n \cdot \exp(-t_n / \tau_1) - \Delta F_{n2} \cdot (1 - \exp(-t_n / \tau_2)), \quad (1)$$

де $F_n(t_n)$ – перехідний нормований світловий потік ДС;

$F_{n,ном}$ – нормований номінальний світловий потік ДС ($F_{n,ном} = 1$);

ΔF_n – нормований спад світлового потоку в кінці СТС джерел світла згідно із стандартом LM-80 ($\Delta F_n = 0,05 - 0,50$);

ΔF_{n2} – вимушений нормований світловий потік другої складової перехідного процесу падіння світлового потоку ДС протягом СТС від моменту початку експлуатації;

t_n – нормований час;

τ_1, τ_2 – сталі часу складових перехідного процесу.

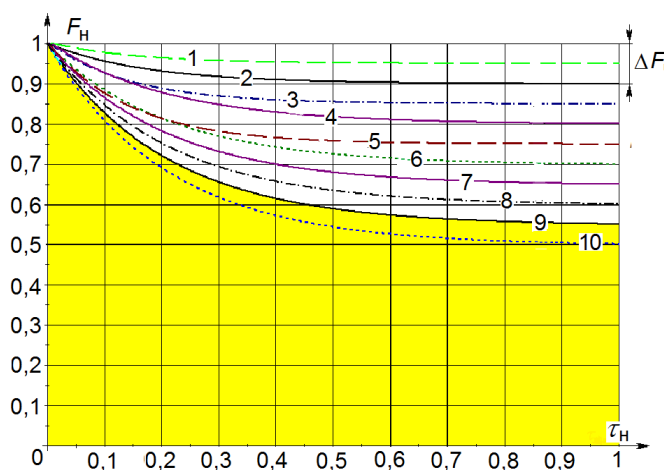


Рис. 4. Динаміка нормованого світлового потоку джерел світла в процесі експлуатації протягом СТС

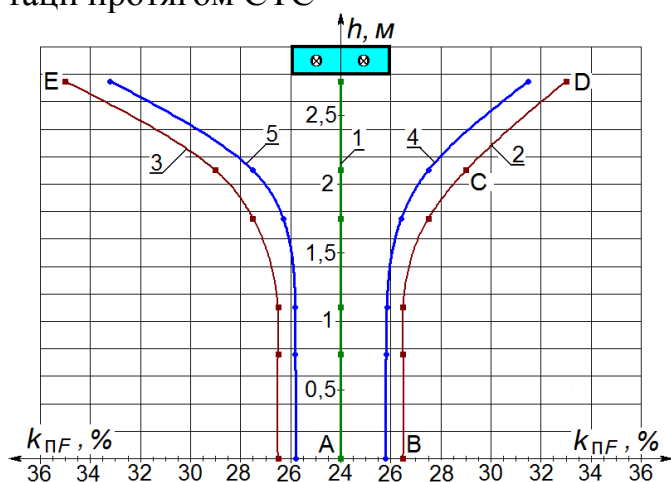


Рис. 5. Динаміка просторового розподілу коефіцієнта пульсацій світлового потоку в приміщенні від світильника з двома ЛЛ, з'єднаними за схемою з розщепленою фазою

Встановлено, що при зростанні потужності теплових джерел світла (ТДС) коефіцієнт пульсації світлового потоку зменшується, а у ЛЛ він не залежить від потужності. На нього впливають колірна температура і колір випромінювання. З ростом колірної температури коефіцієнт пульсації світлового потоку зменшується. У кольорових ЛЛ коефіцієнт пульсації зростає у напрямку зелений, червоний, жовтий і синій. Найбільші пульсації світлового потоку притаманні синім ЛЛ. Такі ж результати ми отримали і при пропусканні випромінювання звичайної білої ЛЛ через кольорові (зелений, червоний, жовтий і синій) фільтри.

Доповнено наукові дані поняттям просторових пульсацій світлового потоку, які виникають в приміщеннях при застосуванні двох-чотирьох лампових світильників з розщепленою фазою. Це дало можливість сформулювати вимоги для раціонального їх розміщення. На рис. 5 видно, що коефіцієнт пульсації по вертикалі до центра світильника залишається

постійним і становить 24 % в т. А прямої 1, в мережі промислової частоти 50 Гц. При відхиленні від центру світильника на 1 м коефіцієнт пульсації спочатку зростає приблизно на 10 % (т. В), залишаючись незмінним до висоти 1,1 м. Надалі його величина поступово зростає до 29 % в т. С досягаючи свого максимуму на висоті 275 см (криві 2, 3, 4, 5), а саме: 33 % в т. D зі сторони ЛЛ, увімкненої з баластним дроселем, і 35 % в т. E зі сторони ЛЛ, увімкненої з індуктивно-ємнісним баластом.

Дослідження електричних і світлотехнічних параметрів РЛВТ в процесі розгорання та димерування проводилося нами від стабілізованого джерела напруги на відповідній установці. За результатами оброблених результатів були побудовані діаграми динаміки нормованих параметрів, представлені на рис. 6.

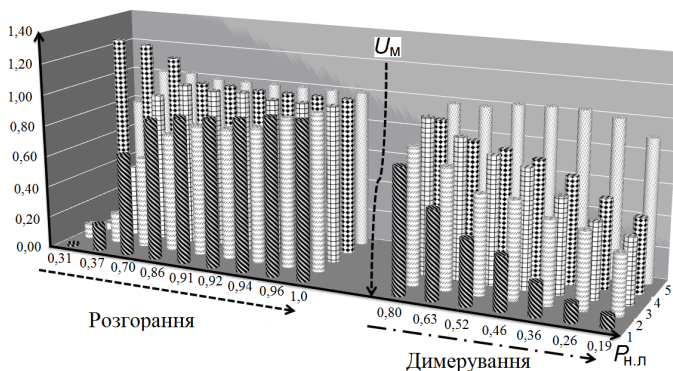


Рис. 6. Динаміка нормованих параметрів РЛВТ типу ДНаТ 250 в процесі розгорання та димерування: 1 – світлового потоку, 2 – напруги на лампі; 3 – світлової віддачі; 4 – струму; 5 – коефіцієнта пульсацій світлового потоку

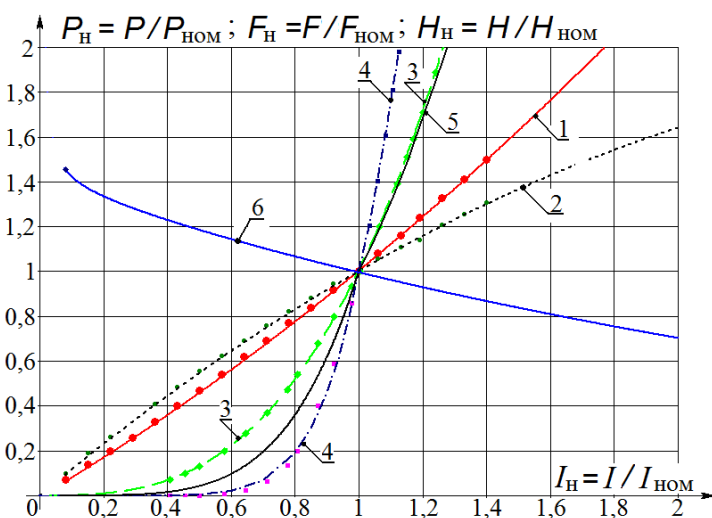


Рис. 7. Залежності нормованої потужності (1,3), світлового потоку (2,4) та світлової віддачі (5,6) теплових (ТДС) та НДС від нормованого струму відповідно

Виявилося, що для димерування РЛВТ розглянутих типів за допомогою ЛАТРа найкращими є лампи типу ДНаТ, у яких коефіцієнт пульсації світлового потоку при розгоранні зменшується а при димеруванні – збільшується. Що ж до напівпровідникових джерел світла (НДС), то головною їх відмінністю від традиційних є застосування абсолютно іншого принципу отримання світла (генерування квантів світлової енергії під час рекомбінації електронно-діркових пар в p - n переході), при

якому корпус, лінзи, радіатор і драйвер є невід'ємними їхніми складовими, які знижують ККД. Крім того, вони є єдиним з існуючих джерел світла, у яких в процесі розгорання відбувається падіння як світлового потоку, так і світлової віддачі, а при димеруванні – зростання світлової віддачі як показано на рис. 7.

На основі аналізу та узагальнення отриманих нами експериментальних даних побудована математична модель електричних та світлотехнічних пара-

метрів НДС у вигляді системи рівнянь, що дає можливість визначати їхню енергоефективності в процесі регулювання світлового потоку

$$U = \kappa_R \cdot I^\beta, \quad (2); \quad P_H = 0,16 \cdot I_H^2 + 0,85 \cdot I_H + 0,05, \quad (4)$$

$$I = \kappa_G \cdot U^\alpha, \quad (3); \quad F_H = -0,18 \cdot I_H^2 + 1,18 \cdot I_H, \quad (5)$$

$$H_H = \frac{F_H}{P_H} = , \text{ для } 0,08 \leq I_H \leq 2,0, \quad (6)$$

де U, I – напруга і струм НДС відповідно, В, А;

κ_R, κ_G – коефіцієнти пропорційності у виразах (2) і (3) відповідно, B / A^β , A / B^α ;

β, α – показники степені у виразах (2) і (3) відповідно. Вони визначають крутизну ВАХ і АВХ в залежності від максимуму довжини хвилі випромінювання λ_m (кольору) НДС. Їх значення отримані нами в результаті апроксимації експериментальних даних.

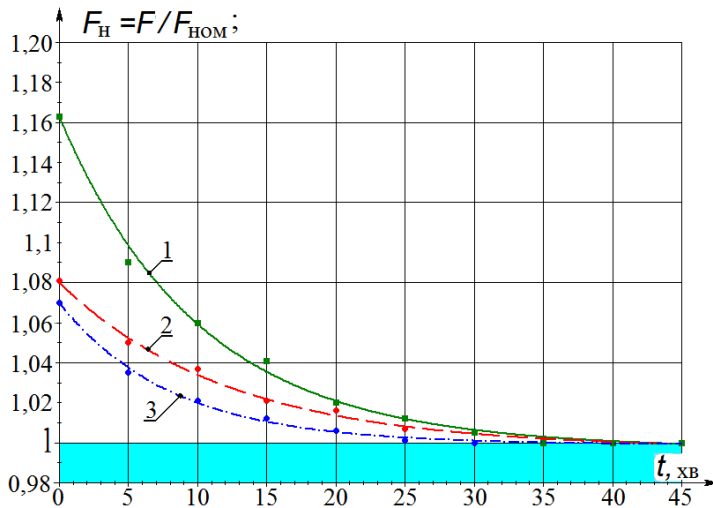


Рис. 8. Динаміка перехідного процесу спаду світлового потоку НДС від моменту ввімкнення до переходу в усталений режим: 1 – для НДС 4,5,6; 2 – для НДС 1,2,3; 3 – для НДС 3

Як видно з виразів, значення номінального струму є визначальним. Тому, для визначення оптимальної його величини, нами були проведені дослідження динаміки перехідних процесів спаду нормованого світлового потоку НДС (F_H) від моменту вмикання до переходу в усталений режим ($F_H = 1$), рис. 8. З'ясувалося, що динаміка згаданих перехідних процесів добре описується різницею падаючої і зростаючої експоненціальних функцій (7) з різними за величиною сталими часу та сталими інтегрування

$$F_H = 1 + F_{H1} \cdot \exp(-t/\tau_1) - F_{H2} \cdot [1 - \exp(-t/\tau_2)], \quad (7)$$

де F_H – перехідний нормований світловий потік НДС;

F_{H1} – нормований номінальний світловий потік НДС при кімнатній температурі $p-n$ переходу в момент ввімкнення в мережу (стала інтегрування першого перехідного процесу);

F_{H2} – вимушений нормований світловий потік НДС другої складової перехідного процесу від моменту ввімкнення до переходу в усталений режим (стала інтегрування другого перехідного процесу);

τ_1, τ_2 – сталі часу складових перехідного процесу спаду світлового потоку НДС від моменту ввімкнення до переходу в усталений режим;
 t – час, хв.

З'ясувалося також, що при спаді світлового потоку більше ніж на 10 % відбувається наднормативний перегрів $p-n$ переходу світлодіодів, при якому як світлова віддача, так і середня тривалість світіння стають нижче заявлених.

У четвертому розділі «Системний підхід щодо визначення енергоефективності джерел світла» розроблений системний підхід до оцінки енергоефективності джерел світла, незалежно від фізичних принципів їхньої дії. Його достовірність підтверджена порівнянням результатів розрахунків в залежності від кількості врахованих параметрів при визначенні енергоефективності ДС за: а) класами енергоефективності згідно Директиви 98/11/EG; б) світловими віддачами; в) вартістю одиниці світлового потоку (за формулами (8)); г) вартістю одиниці світлової енергії (за формулами (9) та (10)) та г) питомою вартістю одиниці світлової енергії (за формулами (11) та (14)), виробленої ДС за середню тривалість світіння (див. рис. 9)

$$C_{F \min} = (C_{\text{дс. min}} + C_{\text{ПРА min}}) / F_{H \min}, \quad C_{F \max} = (C_{\text{дс. max}} + C_{\text{ПРА max}}) / F_{H \max}, \quad (8)$$

де $C_{F \min}, (C_{F \max})$ – мінімальна (максимальна) вартість одиниці світлового потоку ДС, грн/лм; $C_{\text{дс. min}}, (C_{\text{дс. max}})$ – мінімальна (максимальна) вартість ДС, грн; $F_{H \min}, (F_{H \max})$ – номінальний мінімальний (максимальний) світловий потік відповідного ДС, лм; $C_{\text{ПРА min}}, C_{\text{ПРА max}}$ – мінімальна (максимальна) вартість ПРА, грн.

$$C_{q \min} = (C_{\text{дс. min}} + C_{\text{ПРА min}}) / (F_{H \min} \cdot \tau_{\text{дс. min}}), \quad (9)$$

$$C_{q \max} = (C_{\text{дс. max}} + C_{\text{ПРА max}}) / (F_{H \max} \cdot \tau_{\text{дс. max}}), \quad (10)$$

де $C_{q \min}, (C_{q \max})$ – мінімальна (максимальна) вартість одиниці світлової енергії, грн/(Млм × год.); $\tau_{\text{дс. min}}, (\tau_{\text{дс. max}})$ – мінімальна (максимальна) СТС ДС, год;

$$C_{qP \min} = (C_{\text{дс. min}} + C_{\text{ПРА min}}) \cdot P_{\text{дс. min}} / (F_{H \min} \cdot \tau_{\text{дс. min}}), \quad (11)$$

$$C_{qP \max} = (C_{\text{дс. max}} + C_{\text{ПРА max}}) \cdot P_{\text{дс. max}} / (F_{H \max} \cdot \tau_{\text{дс. max}}), \quad (12)$$

де $C_{qP \min}, (C_{qP \max})$ – мінімальна (максимальна) вартість одиниці питомої світлової енергії, виробленої ДС за СТС, грн×Вт/(Млм×год.); $P_{\text{дс. min}}, (P_{\text{дс. max}})$ – мінімальна (максимальна) потужність ДС, грн.

Умовно ДС за усередненими світловими віддачами можна розбити на три групи: 1 – низької ефективності, 2 – середньої ефективності, 3 – високої ефективності (рис. 9,а). В той час як за класами енергоефективності всі ДС, починаючи з номера 10 на рис. 9,а відносяться в основному до кл. А. Таким чином, між оцінкою енергоефективності ДС за величиною світлової віддачі та класами енергоефективності немає належної відповідності. При оцінці енергоефективності ДС з точки зору вартості одиниці світлового потоку (рис. 9,б) з'ясувалося, що

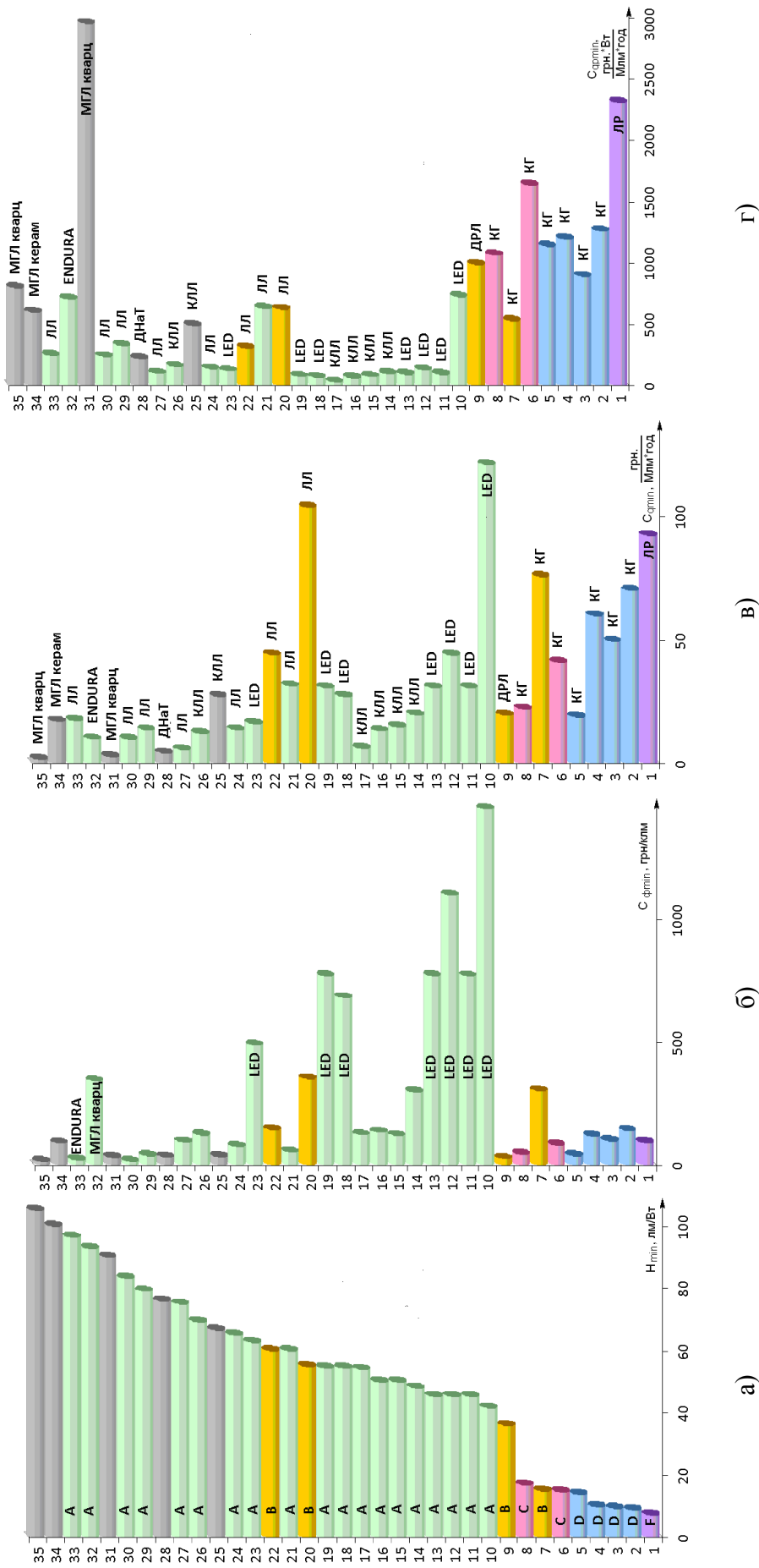


Рис. 9. Діаграми оцінки енергоефективності існуючої гама джерел світла за наступними мінімальними показниками: а) світлових віддач і класів енергоефективності від А до Г; б) вартостей одиниць світлового потоку, розрахованих за виразом (10); в) вартостей одиниць світлової енергії, розрахованих за виразом (11); г) питомих вартостей одиниць світлової енергії, виробленої за середню тривалість світіння ДС, розрахованих за виразом (13). На діаграмах по осях абсцис відкладені значення зазначених вище показників енергоефективності. По осях ординат проставлені номери, які відповідають назвам ДС

світлодіодні лампи прямої заміни ЛР (СДЛПЗ) за цим параметром є найгіршими. Найкращими за цим параметром виявилися всі решта ДС, в тому числі і ТДС. Це обумовлено низькою вартістю ДС і не потрібністю будь-якого ПРА для них.

При оцінці енергоефективності ДС з точки зору вартості одиниці світлової енергії (рис. 9,в), виробленої ними за середню тривалість світіння ситуація дещо змінилася. ТДС перейшли в розряд низькоефективних ДС, а решта – до високоефективних. В тому числі й СДЛПЗ (за виключенням № 10), у яких найвищі вартість комплекту ДС+ПРА. Оцінка енергоефективності за питомою вартістю одиниці світлової енергії, виробленої ДС за СТС (рис. 9,г) показала, що лампи розжарення (ЛР) загального призначення є найгіршими, трохи кращими є к्वрцово-галогенні ЛР (КГЛР). Найкращими виявилися СДЛПЗ, компактні ЛЛ (КЛЛ) і ЛЛ. Серед розрядних ламп високого тиску – ДНаТ і метало-галогенні лампи з кварцовим пальником крім метало-галогенної лампи під № 31 на рис. 9,г. Це обумовлено виключно високою вартістю як власне ламп, так і необхідної для них ПРА.

У процесі аналізу з'ясувалося, що найбільш реалістичні результати при визначенні енергоефективності ДС дає метод оснований на використанні **системного** підходу, який ґрунтується на визначенні питомої вартості одиниці світлової енергії виробленої, ДС за СТС як на етапі його вибору, так і в процесі експлуатації з урахуванням вартості ДС, тарифу на електроенергію, спаду світлового потоку ДС в процесі експлуатації та вартості, мінімально необхідної для нормальної роботи ДС, пускорегулювальної апаратури (драйвера).

При дослідженні енергоефективності регулювання світлового потоку ДС було встановлено, що вона залежить від співвідношення між частками вартості джерел світла (визначається за виразом (13)) та витратами на оплату за електроенергію, спожиту ними протягом номінальної СТС (визначається за виразами (14) та (15))

$$C_{\Sigma \text{дс}} = C_{\text{дс}} + C_{\text{ІЗП}} \cdot (\tau_{\text{дс}} / \tau_{\text{ІЗП}}) + C_{\text{др}} \cdot (\tau_{\text{дс}} / \tau_{\text{др}}), \quad (13)$$

$$C_{\text{ел}} = q \cdot (P_{\text{дс.ном}} + \Delta P_{\text{др.}}) \cdot \tau_{\text{дс.ном}}, \quad (14)$$

$$\Delta P_{\text{др}} = (K_P \cdot P_{\text{дс.ном}}^{0,615}) / 100, \text{ Вт}, \quad (15)$$

де $C_{\text{ел}}$ – витрати на оплату за спожиту комплектом ДС+електромагнітний (ЕМ) ПРА або ДС+електронний (Е) ПРА електроенергію, грн; $\Delta P_{\text{др.}}$ – втрати потужності в баластному дроселі (ПРА); $K_P = 82,63$ – коефіцієнт пропорційності, $\text{Вт}^{0,385}$.

За формулами (13)-(15) були проведені розрахунки й побудовані відповідні діаграми для існуючих типів ДС. Найбільш характерні з них представлені на рис. 11. Аналіз діаграм показав, що чим менше в загальній сумі витрат (на придбання ДС, мінімально необхідної для його функціонування пускорегулювальної апаратури й оплати за електроенергію протягом середньої тривалості його світіння) частка витрат на сплату рахунків за спожиту електроенергію, тим

менше енергоефективність (а значить і доцільність) димерування світлового потоку розглядуваного типу ДС. В першу чергу це відноситься до малопотужних ДС. З ростом потужності енергоефективність димерування для більшості типів ДС зростає.

Найбільша енергоефективність димерування (в напрямку її зменшення) характерна для: 1 – РЛВТ типу ДРЛ; 2 – прямих ЛЛ; 3 – РЛВТ типу ДНаТ. В той же час напівпровідникові ДС (особливо малопотужні), світловий потік яких можна легко регулювати, є найкращими для режиму роботи ввімкнено – вимкнено.

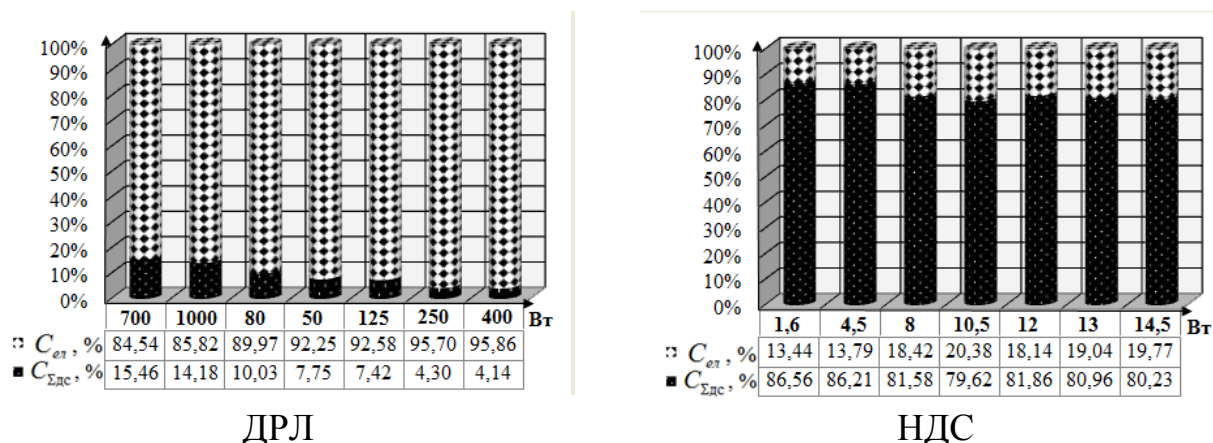


Рис. 11. Співвідношення між вартістю ДС і витратами на оплату за електроенергію, спожиту ними протягом номінальної середньої тривалості світіння

Серед розглянутих способів регулювання світлового потоку з точки зору енергоефективності та електромагнітної сумісності найкращими виявилися: а) для НДС, КЛЛ і прямих ЛЛ – спеціалізовані драйвери з додатковим виходом для керування постійною напругою 0-10 В або інтегральні імпульсні DC/DC драйвери із зовнішнім сигналом з ШІМ; б) для РЛВТ типу ДНаТ (в діапазоні 100 % – 50 %) і ТДС (в діапазоні 100 % – 0 %) – спосіб, оснований на зниженні напруги живлення за допомогою понижувальних трансформаторів із ступінчастими перемикачами.

Для подолання надяскравості – найбільш вагомого недоліку потужних світлодіодів – розроблено концепцію конструювання безблискісних світлодіодних світильників, яка ґрунтується на багатокомпонентності: переході від категорії «лампа» до категорії «освітлювальний прилад», від потужних до мало- та середньопотужних світлодіодів з перенаправленням їхніх світлових променів за допомогою відбиваючих систем та вторинної лінзової оптики таким чином, щоб осередки надяскравості не виникали.

Для підвищення енергоефективності та якості освітлення автомобільних доріг, а також зниження числа дорожньо-транспортних пригод із участю пішоходів запропоновано освітлювати дороги золотисто-жовтим світлом РЛВТ типу ДНаТ, а пішохідні переходи додатково ще й спеціалізованими світлодіодними освітлювальними приладами, які б працювали тільки в ті періоди часу, коли в

зоні пішохідного переходу одночасно будуть знаходитися транспортні засоби і пішоходи.

ВИСНОВКИ

1. Доведено, що одночасне зменшення діаметру розрядної трубки й струму через лампу призводить до суттєвого зростання градієнту потенціалу в позитивному стовпі розряду (відносних значень напруг на ЛЛ), обмежуючи можливості виготовлення потужних (довгих) ЛЛ для електричних мереж промислової частоти напругою 220-230 В.

2. Доповнено наукові дані поняттям просторових пульсацій світлового потоку, що дозволило: а) сформулювати вимоги щодо раціонального розміщення в приміщеннях двох- і чотирьохлампових світильників, виготовлених за схемою з розщепленою фазою для мережі промислової частоти 50 Гц; б) пояснити причини зростання (зменшення) коефіцієнта пульсацій світлового потоку білого світла від теплових і розрядних джерел світла при проходженні через колби різного кольору або кольорові світлофільтри.

3. Уперше доведено, що динаміка перехідного процесу спаду світлового потоку напівпровідникових джерел світла від моменту ввімкнення до переходу в усталений режим, а також протягом експлуатації в межах середньої тривалості світіння з достатньої для практики похибкою (5-8 %) описується різницею падаючої і зростаючої експоненціальних функцій з різними за величиною сталими часу та сталими інтегрування, що дало можливість: а) запропонувати методику визначення оптимальної величини номінального струму, дотримання якого забезпечує економічний ефект в розмірі не менше 10 % від вартості світлового приладу за рахунок забезпечення гарантійної середньої тривалості світіння розроблюваних на основі світлодіодів світлотехнічних виробів; б) визначати кількість світлової енергії, генерованої за будь-який наперед заданий проміжок часу.

4. На основі аналізу та узагальнення отриманих нами експериментальних даних запропонована система рівнянь (4) – (8) для визначення електричних та світлотехнічних параметрів НДС, що дало можливість визначати їхню енергоефективності в процесі регулювання світлового потоку.

5. Запропоновано аналітичний вираз для розрахунку реалістичних даних економії електричної енергії для будь-якої функціональної залежності регулювання світлового потоку джерел світла з врахуванням втрат потужності в пускорегулювальній апаратурі, що дає можливість отримати економічний ефект в розмірі 10-50 % від розрахункової споживаної електричної енергії за рахунок вибору найкращого (для розглядуваної освітлювальної установки) способу диметування світлового потоку.

6. Доведено, що системний підхід до оцінки енергоефективності джерел світла (незалежно від фізичних принципів їхньої дії) та освітлювальних установок, побудований на врахуванні максимальної кількості доступних параметрів (вартості джерел світла та мінімально необхідної для них пускорегулювальної апаратури, потужності джерел світла та втрат потужності в ПРА, світлової віддачі комплекту

ДС+ПРА, середньої тривалості світіння тощо) дає можливість отримати реалістичні дані щодо їхньої енергоефективності, на основі порівняння питомої вартості одиниці світлової енергії, виробленої джерелами світла за середню тривалість їхнього світіння. Використання результатів розрахунків системного підходу дає можливість отримати економічний ефект в розмірі 10-25 %, за рахунок реалізації освітлювальних установок з найменшою питомою вартістю одиниці світлової енергії.

7. Запропоновано концепцію конструювання безблискісних світлодіодних світильників, яка ґрунтується на багатокомпонентності, а саме: переході від загального до зонального освітлення приміщень, від категорії «лампа» до категорії «освітлювальний прилад», від потужних до мало- та середньопотужних світлодіодів з перенаправленням їхніх світлових променів за допомогою відбиваючих систем та вторинної лінзової оптики таким чином, щоб осередки надяскравості не виникали, що дає можливість підвищити комфортність освітлення і сприятиме поступовій відмові від виробництва світлодіодних ламп за фактором ламп розжарення загального призначення.

8. Доведено, що автомобільні дороги найкраще освітлювати золотистожовтим світлом РЛВТ типу ДНаТ, а пішохідні переходи додатково ще й спеціалізованими світлодіодними освітлювальними приладами, які б працювали тільки в ті періоди часу, коли в зоні пішохідного переходу одночасно будуть знаходитися транспортні засоби і пішоходи, що дасть можливість не тільки підвищити енергоефективність освітлювальних установок, але й знизити число дорожньо-транспортних пригод з участю пішоходів.

9. Встановлено, що для джерел світла з постійно падаючою залежністю енергоефективності регулювання світлового потоку з точки зору нормованої питомої вартості одиниці світлової енергії, виробленої в процесі димерування, найкращим режимом експлуатації є режим ввімкнено-вимкнено, що забезпечує отримання максимально можливої економії електричної енергії в процесі експлуатації.

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

1. Козак К.М. Залежність номінальних світлових віддач джерел світла від номінальних потужностей / К.М. Козак, М.Г. Тарасенко // Вісник Тернопільського нац. техн. ун-ту ім. І. Пулюя. – 2013. – № 2 (70) – С. 173 – 183.
2. Козак К.М. Комплексний підхід щодо визначення енергоефективності джерел світла / К.М. Козак, М.Г. Тарасенко // Світлотехніка та електроенергетика. – 2013. – № 1 (33). – С. 27-36
3. Козак К. Влияние геометрических параметров люминесцентных ламп на электрические и светотехнические характеристики при постепенном изменении частоты напряжения питания / К. Козак, Н. Тарасенко, // Энергетика – известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ (раздел электроэнергетика). – Белорусский нац. техн. ун-т – 2013. – № 5. – С. 38-45.

4. Karpiński M. Energy efficiency regulation of the light source's luminous flux / M. Karpiński, K. Kozak // *Pomiary * Automatyka * Robotyka (PAR)*. – Warszawa – 2013. nr 11. – P. 79-83.
5. Козак К.М. Особливості електричних, світлотехнічних та експлуатаційних характеристик напівпровідникових джерел світла / К.М. Козак, М.Г. Тарасенко / *Вісник Тернопільського нац. техн. ун-ту ім. І. Пулюя*. – 2013. – № 2 (72). – С. 227-237.
6. Позитивне рішення на патент – корисна модель світлодіодного світильника МПК F 21 S 5/00 (2012.01).

Опубліковані праці апробаційного характеру:

1. Концепція енергоефективного освітлення: тези доповідей XVI наук.-конф., (Тернопіль, 5-6 грудня 2012 р.) / М-во освіти і науки України, Тернопільський нац. техн. ун-т ім. І. Пулюя – Т.: ТНТУ, 2012 р. – 143 с.
2. Комплексний підхід щодо визначення енергоефективності джерел світла: матеріали V Міжнародної наук-техн. конф. [«Современные тенденции развития светотехники»], (Харків, 15-16 травня 2013 р.) / М-во освіти і науки України, Харківський нац. ун-т міського господарства ім. А.Н. Бекетова. – Х.: ХНУМГ ім. А.Н. Бекетова, 2013. – 133 с.
3. Регулювання світлового потоку джерел світла з точки зору енергоефективності: тези доповідей XVII наук.-техн. конф., (Тернопіль, 20-21 листопада 2013 р.) / М-во освіти і науки України, Тернопільський нац. техн. ун-т ім. І. Пулюя – Т.: ТНТУ, 2013. – 57 с.
4. Особливості основних характеристик напівпровідникових джерел світла: тези доповідей Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів [«Актуальні задачі сучасних технологій»], (Тернопіль 11-12 грудня 2013 р.) / М-во освіти і науки України, Тернопільський нац. техн. ун-т ім. І. Пулюя – Т.: ТНТУ, 2013. – 373 с.

АНОТАЦІЯ

Козак К.М. Системний підхід до оцінки енергоефективності джерел світла та освітлювальних установок. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.09.07 – світлотехніка та джерела світла. Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Тернопіль 2014.

Дисертація присвячена розвитку науково-технічних основ оцінки енергоефективності джерел світла та освітлювальних установок, побудованих на їх основі. Доведено, що найбільш достовірним методом оцінки енергоефективності джерел світла, незалежно від фізичних принципів їхньої дії, є метод, оснований на оцінці енергоефективності за питомою вартістю одиниці світлової енергії, виробленої джерелом світла за середню тривалість його світіння.

Запропоновано аналітичний вираз для розрахунку економії електричної енергії для будь-яких функціональних залежностей регулювання світлового потоку джерел світла. Доведено, що динаміка перехідного процесу спаду світлового потоку напівпровідникових джерел світла від моменту ввімкнення до пе-

реходу в усталений режим, а також протягом експлуатації в межах середньої тривалості світіння, з достатньої для практики точністю описується різницею падаючої і зростаючої експоненціальних функцій з різними сталими часу та сталими інтегрування.

Доведено, що одночасне зменшення діаметру розрядної трубки і струму, що протікає через люмінесцентну лампу, призводить до суттєвого зростання відносних значень напруги на лампі, обмежуючи можливості виготовлення потужних ЛЛ для електричних мереж промислової частоти напругою 220-240 В.

Запропоновано концепцію конструювання безблискісних світлодіодних світильників. Доведено, що автомобільні дороги найкраще освітлювати золотисто-жовтим світлом РЛВТ типу ДНаТ, а пішохідні переходи додатково ще й спеціалізованими світлодіодними освітлювальними приладами.

Ключові слова: джерела світла, світловий потік, світлова віддача, потужність, питома вартість одиниці світлової енергії, енергоефективність, димерування, середня тривалість світіння, просторові пульсації світлового потоку, концепція, безблискісний світильник.

АННОТАЦИЯ

Козак Е.Н. Системный подход к оценке энергоэффективности источников света и осветительных установок. Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.07 – светотехника и источники света. – Тернопольский национальный технический университет имени Ивана Пулюя, Тернополь, 2014.

Диссертация посвящена развитию научно-технических основ оценки энергоэффективности источников света и осветительных установок, построенных на их основе. Доказано, что наиболее достоверным методом оценки энергоэффективности источников света, независимо от физических принципов их работы, является метод, основанный на оценке энергоэффективности по удельной стоимости единицы световой энергии, выработанной источником света за среднюю продолжительность его свечения.

Разработана математическая модель для расчета достоверных значений экономии электрической энергии для любых функциональных зависимостей регулирования светового потока источников света. Доказано, что динамика переходного процесса спада светового потока полупроводниковых источников света от момента включения до перехода в установившийся режим, а также в течение эксплуатации в пределах средней продолжительности свечения, с достаточной для практики точностью описывается разницей спадающей и возрастающей экспоненциальных функций с различными по величине постоянными времени и постоянными интегрирования.

Доказано, что одновременное уменьшение диаметра разрядной трубки и тока через люминесцентную лампу приводит к существенному росту относительных значений напряжения на лампе, ограничивая возможности изготовления мощных ЛЛ для электрических сетей промышленной частоты напряжением 220-230 В.

Предложена концепция конструирования безблестковых светодиодных светильников. Доказано, что автомобильные дороги лучше всего освещать золотисто-желтым светом РЛВД типа ДНаТ, а пешеходные переходы дополнительно еще и специализированными светодиодными осветительными приборами.

Ключевые слова: источники света, световой поток, световая отдача, мощность, удельная стоимость единицы световой энергии, энергоэффективность, диммирование, средняя продолжительность свечения, пространственные пульсации светового потока, концепция, безблестковый светильник.

ANNOTATION

Kozak K.M. System-based approach toward light sources and lighting installations energy efficiency assessment. - Manuscript.

Thesis for a Candidate Degree in Technical Sciences, Speciality 05.09.07 – Light Engineering and Light Sources. – Ternopil Ivan Pul'uj State Technical University, Ternopil, 2014.

The thesis deals with the development of scientific and technical bases of assessment of light sources and lighting settings' energy efficiency manufactured on their basis. It has been proved that the most reliable, comprehensive and scientifically sound evaluation method of energy efficiency of light sources regardless of physical principles of their functioning is the method based on the assessment of energy efficiency by the specific cost per unit of light energy produced by a light source within an average duration of its luminescence. That is caused by the fact that in estimating there has been taken into account the maximum possible number of available parameters (the cost of light sources and the minimum of start-control devices necessary for them, the power of light sources, luminous efficiency of a light sources set plus start-control devices and an average duration of glow) which influence energy efficiency in the greatest degree.

There has been developed a mathematical model for calculating realistic values of electrical energy savings for any functional dependencies of luminous flux light sources regulation, taking into account the power losses in electromagnetic ballast chokes.

It has been proved that the dynamics of the transition process of semiconductor light sources' luminous flux decrease from the moment of switching to the moment of transition into a steady mode, as well as within an average duration of glow, is described (with accuracy sufficient for practical purposes) by the difference of decreasing and increasing exponential functions of constants of time and integration of various magnitude, which made it possible: a) to evaluate the contribution of each transient thermal resistance (light emitting diode-radiator, radiator-environment) to the process of the excessive heat transfer from a driver and LEDs to the environment; b) to suggest a method of determining an optimal value of nominal current generated on the basis of LED lighting products in terms of providing a necessary magnitude of an average duration of glow; c) to determine the amount of light energy generated within any pre-specified period of time.

Based on the analysis and generalization of the obtained and published experimental data there has been constructed an mathematical model of electrical and lighting parameters of semiconductor light sources in the form of system equations, which made it possible to determine their energy efficiency in the process of luminous flux regulation.

There has been introduced the concept of spatial pulsations of the luminous flux which made it possible: a) to formulate the requirements for the rational distribution in rooms of two and four lamp fixtures made under a split phase scheme for the network power frequency of 50 Hz; b) to explain the causes for the increase (decrease) of the luminous flux pulsation coefficient of white light from heat and discharge light sources in passing through bulbs of coloured light sources or coloured filters.

It has been proved that a simultaneous decrease of the discharge tube diameter and the current through a fluorescent lamp leads to a significant increase in the relative values of voltage in a lamp (due to the increase of the potential gradient in a positive pillar of discharge) limiting the possibility of manufacturing not only powerful low-pressure discharge lamps, but also the increase of the luminous efficiency and operation in a chain of an industrial network with electromagnetic start-control devices.

There has been set forward the concept of designing anti-glare light emitting diodes luminaires based on multicomponentness, namely the transition from general to zonal lighting, from the category of "lamp" to the category of "lighting apparatus", from powerful to small and medium-power LEDs with light beams redirection by means of reflective systems and secondary optical lens to avoid hyper-brightness cells formation.

It has been proved that highways are better illuminated by golden-yellow light of high intensity discharge lamps of the high-pressure sodium vapor type while pedestrian crossings – by additional specialized LED lighting fixtures that would operate only in the periods when at a pedestrian crossing area there will be both vehicles and pedestrians (a pedestrian), which will make it possible not only to increase the energy efficiency of lighting settings, but also to reduce the number of traffic accidents involving pedestrians.

It has been found out that for light sources with continuously declining dependency of energy efficiency the regulation of the luminous flux in terms of the normalized specific cost per unit of light energy produced by a light source in the process of dimming the best mode of exploitation is the on-off one based on the usage of presence sensors.

Key words: light sources, luminous flux, luminous efficiency, power, specific cost per unit of light energy, energy efficiency, dimming, an average duration of glow, spatial pulsations, a concept, anti-glare luminaires.