

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ
ФАКУЛЬТЕТ ПРИКЛАДНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА
ЕЛЕКТРОІНДЖЕНЕРІЇ
КАФЕДРА ЕЛЕКТРИЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ

МАТЮШКО КИРИЛО ВОЛОДИМИРОВИЧ

УДК 621.326

**ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ
ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ У ВУЛИЧНОМУ ОСВІТЛЕННІ**

141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Автореферат
дипломної роботи на здобуття освітнього ступеня «магістр»

Тернопіль
2018

Роботу виконано на кафедрі електричної інженерії Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя Міністерства освіти і науки України

Керівник роботи: кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри електричної інженерії
Костик Любов Миколаївна,
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Рецензент: кандидат технічних наук, старший викладач кафедри фізики
Сіткарь Оксана Андріївна
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Захист відбудеться 24 грудня 2018 р. о 14⁰⁰ годині на засіданні екзаменаційної комісії №36 у Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя за адресою: 46001, м. Тернопіль, вул. Микулинецька, 46а, корпус №7, ауд.310.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми роботи. Зовнішнє освітлення міста є важливою та невід'ємною складовою інженерно-транспортної інфраструктури міста. Головною функцією зовнішнього освітлення є забезпечення життєдіяльності міста в темний період доби або в умовах недостатньої видимості, а також створення комфортних і безпечних умов для учасників дорожнього руху.

Зовнішнє освітлення вулиць житлових районів повинно виконувати основні функції: забезпечувати безпеку пішоходів на вулиці та створювати відчуття цієї безпеки, що визначається рівнем освітленості та зоровим комфортом. До безпеки руху відносять такі фактори: здатність помічати на тротуарі перешкоди, візуальне орієнтування і здатність розпізнавання облич інших людей на достатній відстані.

Для вулиць місцевого значення і проїздів в житлових кварталах в якості норми застосовується освітленість, оскільки в цьому випадку не можна стандартизувати ні геометрію дороги, ні положення спостерігача. Для оцінки зовнішнього освітлення вибрана горизонтальна освітленість покриття тротуарів і проїжджої частини.

На даний час велика кількість наукових публікацій присвячена дослідженню впливу спектрального розподілу енергії випромінювання на зорове сприйняття в сутінковий час доби, що дозволяє краще оцінити якість вуличного освітлення.

Зір людини поділяють на: денний (колбочковий), нічний (палочковий) і сутінковий (спільна робота колбочок і паличок). Палочковий (нічний) зір володіє найбільшою чутливістю до світла при низьких рівнях яскравості (нижче $0,1 \text{ кд/м}^2$), але не здатний передавати відчуття кольоровості. Колбочковий (денний) забезпечує кольоровий зір, але він значно менше чутливий до слабкого світла і повністю функціонує тільки при рівнях яскравості вище 10 кд/м^2 . Денний зір характеризується високою гостротою зору, хорошим візуальним сприйняттям кольору і форми предмета, тоді як нічний зір відповідає за орієнтацію в просторі. Відповідно, для забезпечення найкращих умов зорової роботи у сутінках необхідно враховувати спектральну чутливість ока в таких умовах.

У роботі ставилась задача встановлення залежності між спектром випромінювання ламп, що використовуються в установках зовнішнього освітлення, та забезпечення виконання цих зорових задач при нормованих значеннях освітленості.

Метою роботи є аналіз шляхів оптимізації світлотехнічних параметрів установок зовнішнього освітлення житлових районів в різних умовах зорової роботи.

Об'єктом дослідження є фізіологічні особливості зорової роботи в умовах денного, сутінкового та нічного зору; установки зовнішнього освітлення з різними джерелами випромінювання.

Предмет дослідження – ефективність зорового сприйняття в умовах сутінкового зору, освітлювальні установки з натрієвими та металогалогенними лампами високого тиску.

Методи дослідження. Стандартні методи вимірювання електричних і світлотехнічних параметрів джерел світла та освітлювальних установок, емпіричні методи розрахунку показників ефективності.

Наукова новизна отриманих результатів:

- на основі аналізу світлотехнічних параметрів різних джерел світла та особливостей зорового сприйняття людини при різних умовах зовнішнього освітлення обґрунтовано доцільність використання металогалогенних ламп для систем зовнішнього освітлення житлових районів.
- на основі аналізу експериментальних досліджень встановлено, що при суб'єктивній рівності світлоти рівень необхідної освітленості, створеної лампами ДРИ, є нижчим, ніж створеної лампами ДНаТ.
- встановлено, що при використанні ламп ДРИ було виявлено більшу кількість перешкод порівняно з лампами ДНаТ.
- запропоновано моделі установок зовнішнього освітлення, що створюють параметри світлового середовища, які функціонально залежать від параметрів джерел світла та характеристик приймача.

Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості реалізації результатів дослідження при проектуванні систем зовнішнього освітлення. Запропонована освітлювальна установка на базі металогалогенних ламп дозволяє забезпечити комфортність та безпечність освітлення житлових районів.

Апробація. Основні положення роботи і її результати доповідалися на VII Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» 28-29 листопада 2018 р. (Тернопіль 2018 р.)

Структура роботи. Робота складається зі вступу, 8 розділів, висновків, переліку посилань (20 найменувань). Загальний обсяг текстової частини: 114 сторінок, 24 таблиці, 23 рисунки.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** встановлено актуальність тематики дипломної роботи, визначено основні завдання, які необхідно вирішити в роботі, відмічено наукову новизну та практичну цінність результатів виконання роботи.

В **аналітичній частині** розглянуто нормативні вимоги до зовнішнього освітлення залежно від категорії вулиць та інтенсивності транспортного потоку. Проаналізовано існуючі системи вуличного освітлення, вказано області їх застосування. Проаналізовано джерела світла, які використовуються для вуличного освітлення, з точки зору їх світлотехнічних та експлуатаційних параметрів.

В **науково-дослідній частині** розглянуто особливості зорового процесу людини для денного, нічного та сутінкового зору на основі аналізу спектральних чутливостей ока людини в різних світлових умовах. З урахуванням характеристики джерела світла, що показує, який вплив надає спектр джерела світла на роботу нічного зору (S/P -фактора) встановлено, що оптимальними джерелами випромінювання для сутінкового зору є лампи типу ДРИ, ДРЛ та світлодіодні.

Для опису спектральної чутливості ока людини в умовах сутінкового зору на даний час найчастіше використовують дві математичні моделі: USP (Unified System of Photometry) і MOVE. Система USP, в якій чутливість ока при сутінковому освітленні $V_{mes}(\lambda)$ виражається як лінійна сума функції спектральної чутливості при денному і нічному світлі, адитивна і експерименти, які проводилися, гарантують

дотримання всіх умов законів адитивності. У випробуваннях MOVE є багато задач, в яких оцінюється колірний і яскравісний контраст, що розширює сферу застосування системи. Проте недотримання закону адитивності може призвести до неправильних результатів, оскільки колірне сприйняття людини має нелінійний характер. Незважаючи на те, що система USP заснована на результатах, отриманих від невеликої кількості спостерігачів, а MOVE – від їх великої кількості, обидві системи дають схожі результати. Перевагою MOVE-моделі є врахування внеску функції нічної ефективності при обчисленні спектральної ефективності при денній яскравості більше 10 кд/м^2 і внеску функції спектральної ефективності при денному світлі при освітленні менше $0,01 \text{ кд/м}^2$. Крім цих основних систем, комітетом СІЕ запропоновано дві проміжні системи, MES1 і MES2, що є оптимальними для ахроматичних завдань. Максимальна розбіжність в яскравості, яка виходить між цими системами, менше 1%. Проте оптимальною є система MES2, яка покриває більший діапазон яскравостей ($0,005\text{-}5 \text{ кд/м}^2$), характерних для важливих додатків сутінкової фотометрії, таких як дорожнє освітлення, тоді як у більшості стандартів максимальний діапазон визначається значеннями $0,1\text{-}2 \text{ кд/м}^2$.

В технологічній частині на основі аналізу експериментальних даних дослідження спектрального розподілу джерел світла на освітленість в умовах сутінкового зору встановлено, що для центрального і периферійного зору в лабораторних і реальних умовах при рівних значеннях освітленості вищу яскравість забезпечує освітлення металогалогенними та люмінесцентними лампами порівняно з натрієвими лампами високого тиску. На основі розрахунків впливу спектрального розподілу випромінювання на освітленість в умовах сутінкового зору за допомогою моделі узагальненої яскравості USP і MOVE-моделі встановлено, що точніше прогнозування результатів дає MOVE-модель. Показано, що в умовах сутінкового зору для осьового зору на пороги гостроти зору або розпізнавання контрастів істотніше впливає яскравість, а не спектральний розподіл випромінювання. Для периферійного зору спектральний розподіл джерела суттєво впливає на пороговий контраст. Неосьове розпізнавання краще при освітленні метало галогенними лампами, ніж при освітленні натрієвими лампами високого тиску. На основі аналізу експериментальних даних з дослідження по виявленню перешкод в умовах сутінкового зору встановлено, що металогалогенні лампи забезпечують кращі результати при невисоких рівнях освітленості (до 1 лк). При вищих рівнях освітленості (до 20 лк) спектральний розподіл мало впливає на виявлення перешкод для різних типів ламп.

В конструкторській частині проведено проектування освітлювальних установок і розрахунок освітлення житлового кварталу згідно нормативних даних. На основі врахування особливостей сутінкового зору розраховано значення еквівалентної світлової ефективності при використанні ламп ДНаТ та ДРИ для двох значень яскравості дорожнього покриття. На основі розрахунків визначено загальну споживану потужність освітлювальної установки для ділянки дороги при використанні ламп ДНаТ (1440 Вт) та ДРИ (1008 Вт), які забезпечують нормовані параметри освітленості.

В спеціальній частині здійснено розрахунок системи освітлення, виходячи з нормованих параметрів рівня освітленості та попередньо вибраних джерел світла та

світлових приладів. Розраховано параметри живлення установок зовнішнього освітлення. Обґрунтовано вибір кабелів і проводів освітлювальної мережі, здійснено вибір комутаційної та захисної апаратури.

В частині «Обґрунтування економічної ефективності» розглянуто питання обґрунтування економічної ефективності, методи її оцінки та шляхи підвищення ефективності основних вкладень. Розраховано економічний ефект при заміні комплектів лампа-ПРА для ламп ДНаТ та ДРИ з врахуванням їх терміну служби, вартості та споживаної потужності.

В частині «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях» розглянуто питання вимог техніки безпеки при монтажі світлових приладів та проведенні електричних вимірювань і випробувань опромінювальної установки, описано електрозахисні засоби та запобіжні пристосування.

В частині «Екологія» проаналізовано прояви шкідливого впливу на довкілля при виробництві і експлуатації світильників та встановлено заходи із зменшенню забруднення довкілля.

У загальних висновках до дипломної роботи описано прийняті в роботі технічні рішення і організаційно-технічні заходи, які забезпечують підвищення енергоефективності установок зовнішнього освітлення.

У графічній частині приведено ілюстративний матеріал щодо визначення найбільш ефективних джерел світла на основі врахування особливостей сутінкового зору, розрахунку та проектування освітлювальної установки для житлового кварталу, розрахункові дані електричного розрахунку установки.

ВИСНОВКИ

1. Проаналізовано існуючі системи зовнішнього освітлення та нормативні параметри до освітлення вулиць, здійснено порівняльний аналіз світлотехнічних та експлуатаційних параметрів різного типу джерел світла, які використовуються в установках зовнішнього освітлення.

2. На основі аналізу світлотехнічних параметрів різних джерел світла та особливостей зорового сприйняття людини при різних умовах зовнішнього освітлення обґрунтовано доцільність використання металогалогенних ламп для систем зовнішнього освітлення житлових районів.

3. Встановлено, що в умовах сутінкового зору виявлення рухомих об'єктів на периферії при освітленні джерелами з голубуватим спектром (зсунутим в короткохвильову область) є ефективнішим, ніж з червонуватим спектром (зсунутим в довгохвильову область).

4. Проаналізовано різні математичні моделі для визначення зорової ефективності для сутінкового зору. Встановлено, що найбільш оптимальною є MOVE-модель, в якій враховується внесок функції нічної ефективності при обчисленні спектральної ефективності при денній яскравості більше 10 кд/м^2 і внесок функції спектральної ефективності при денному світлі при освітленні менше $0,01 \text{ кд/м}^2$.

5. Проведено порівняння ефективності використання ламп ДНаТ та ДРИ в умовах сутінкового зору для визначення відчуття світлоти та виявлення перешкод на основі результатів експериментальних досліджень.

6. Проведено розрахунок впливу спектрального розподілу випромінювання на освітленість та прогнозування виявлення перешкод за допомогою MOVE та USP моделей. Встановлено, що MOVE-модель дає результати, які краще корелюють з експериментальними даними.

7. Спроектовано установку для освітлення житлового мікрорайону на основі ламп ДНаТ та ДРИ і проведено розрахунок освітленості окремих ділянок дороги для двох типів джерел світла. Проведено розрахунки нормованого рівня освітленості для ламп ДНаТ та ДРИ з врахуванням їх світлової ефективності в умовах сутінкового зору. Встановлено, що для забезпечення рівних умов зорової роботи у сутінках при використанні ламп ДРИ споживана потужність установки зменшується на 20%.

8. Здійснено розрахунок системи освітлення, виходячи з нормованих параметрів рівня освітленості та попередньо вибраних джерел світла та світлових приладів.

9. Розраховано параметри живлення установок зовнішнього освітлення, обґрунтовано вибір кабелів і проводів освітлювальної мережі, здійснено вибір комутаційної та захисної апаратури.

10. Розраховано економічний ефект при заміні комплектів лампа-ПРА для ламп ДНаТ та ДРИ з врахуванням їх терміну служби, вартості та споживаної потужності.

11. Розроблені заходи з охорони праці, безпеки життєдіяльності та екології під час виготовлення та експлуатації установок зовнішнього освітлення.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ АВТОРОМ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ РОБОТИ

1. Костик Л.М., Заїкін О.С., Матюшко К.В. Підвищення енергетичної ефективності установок зовнішнього освітлення // Матеріали VII Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів. «Актуальні задачі сучасних технологій», Тернопіль, ТНТУ, 28–29 листопада 2018 р. – С.26.

АНОТАЦІЯ

Матюшко К.В. Підвищення енергетичної ефективності використання електроенергії у вуличному освітленні. 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка – Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. – Тернопіль, 2018.

У роботі проаналізовано існуючі джерела світла та установки зовнішнього освітлення з врахуванням особливостей сутінкового зору. На основі аналізу світлотехнічних параметрів різних джерел світла та особливостей зорового сприйняття людини при різних умовах зовнішнього освітлення обґрунтовано доцільність використання металогалогенних ламп для систем зовнішнього освітлення житлових районів. Спроектовано установку для освітлення житлового

мікрорайону на основі ламп ДНаТ та ДРИ і проведено розрахунок освітленості окремих ділянок дороги для двох типів джерел світла.

Ключові слова: ОСВІТЛЮВАЛЬНА УСТАНОВКА, ЕКВІВАЛЕНТНА ЯСКРАВІСТЬ, СУТІНКОВИЙ ЗІР, ЕФЕКТИВНІСТЬ СИСТЕМИ ОСВІТЛЕННЯ.

ANNOTATION

Matiushko K.V. Improving the Energy Efficiency of Electric Energy use in Street Lighting. 141 Electrical Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics. – Ternopil Ivan Puluj National Technical University. - Ternopil, 2018.

The work analyzes the existing light sources and the installation of external lighting, taking into account the features of the twilight view. Based on the analysis of the lighting parameters of various light sources and the characteristics of human visual perception under different ambient lighting conditions, the feasibility of using metal halide lamps for outdoor lighting systems in residential areas has been substantiated. The installation for illumination of a residential neighborhood on the basis of sodium and metal halide lamps was designed and the lighting of separate sections of the road for two types of light sources was calculated.

Key words: LIGHTING INSTALLATION, EQUIVALENT BRIGHTNESS, TWILIGHT VISION, EFFICIENCY OF THE LIGHTING SYSTEM.