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

КЕРЕЦМАН МАРИНА ЮРІЇВНА

УДК 721.011:692.292

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ КОМБІНОВАНОГО ОСВІТЛЕННЯ ПРИМІЩЕНЬ

141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

АВТОРЕФЕРАТ
дипломної роботи на здобуття вищої освіти
освітнього ступеня магістр

Тернопіль – 2018

Дипломною роботою магістра є рукопис

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

Науковий керівник кандидат технічних наук, ст. викладач
Козак Катерина Миколаївна,
ст. викладач кафедри електричної інженерії
Тернопільського національного технічного
університету імені Івана Пулюя

Рецензент кандидат технічних наук, доцент
Габрусєва Ірина Юріївна,
доцент кафедри вищої математики
Тернопільського національного технічного
університету імені Івана Пулюя

Захист відбудеться «27» грудня 2018 р. о 17 годині на засіданні екзаменаційної комісії № 38 з атестації здобувачів вищої освіти освітнього ступеня магістр 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка при Тернопільському національному технічному університету імені Івана Пулюя МОН України за адресою: 46000, м. Тернопіль, вул. Микулинецька 46, аудиторія 404.

З авторефератом дипломної роботи магістра можна ознайомитися в інституційному репозиторії Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя (ELARTU) за адресою http://elartu.tntu.edu.ua/

Секретар
Екзаменаційної комісії № 38 Коцюрко Р.В.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Енергетичні аспекти освітлення привертають до себе все більш пильну увагу. Природне освітлення представляє в цьому сенсі величезний потенційний резерв. З одного боку, на ринку з'явилися нові енерго-економічні продукти: джерела світла, електронні пристрої управління, нові світлотехнічні матеріали, нові технології сонцезахисту і т.п. І хоча „ культурні ” і кліматичні відмінності ускладнюють виготовлення „ універсальних ” рекомендацій по проектуванню освітлювальної установки (ОУ), на відміну від систем штучного освітлення, для яких критерії проектування досить добре розроблені, і незважаючи на те, що підходи до проектування природного освітлення є предметом запеклих суперечок дослідників.

Відсутність методів вирішення цієї задачі ускладнює проектування раціонального верхнього освітлення, призводить у багатьох випадках до вибору далеко не оптимального значення площі світлових отворів, що в свою чергу знижує ефективність систем природного освітлення.

Мета і задачі дослідження. Метою магістерської роботи є представлення інформації про світлотехнічні характеристики різних систем освітлення та відповідні капітальні і експлуатаційні витрати протягом тривалого періоду часу з метою отримання даних для створення нових енергоефективних систем освітлення на основі застосування штучного і природного освітлення.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

1. Довести, що світлові отвори будівель економічно доцільні.
2. Показати, що системи природного освітлення, які вводять світло в глибину будівель, як правило, економічно неефективні (крім випадків, коли в них використовуються стандартні промислові елементи з високими оптичними властивостями).
3. Довести, що освітлювальні установки з ЛР при безперервній експлуатації обходяться дуже дорого і потребують заміни на ЛЛ або СД.
4. Показати, що в залежності від еволюції робочих характеристик і вартості СД і фотоелектричних панелей вони могли б ширше використовуватися в освітлювальній практиці, в тому числі в варіантах з безпосереднім живленням СД від фотоелектричних панелей.

Об'єктом дослідження є енергетична ефективність різних систем освітлення.

Предмет дослідження є системи природнього та штучного освітлення.

Методи дослідження є аналітичні, що дали можливість оцінити можливість створення енергоефективних систем природного та штучного освітлення. Графоаналітичний метод проектування систем природного освітлення будівель, через які здійснюється природне освітлення приміщень, дозволяє проектувати в один етап оптимальні розміри світлових отворів. Для оцінки систем штучного освітлення застосовувались три методи: метод коефіцієнта використання світлового потоку; метод питомої потужності; точковий метод за допомогою цих методів можна проаналізувати розподіл освітленості по всьому

приміщенню, визначити мінімальну освітленість не лише на горизонтальній, але і похилій поверхні, розрахувати аварійне і місцеве освітлення.

Новизна проведеного дослідження.

Використано принципово новий підхід для вирішення поставлених завдань, який полягав в комплексному використанні методів дослідження, що дав цілісне уявлення про ефективність систем комбінованого освітлення приміщень.

Особистий внесок автора - особистий внесок автора включає постановку мети і задач дослідження, обґрунтування принципів і методів їхнього проведення, якісний і кількісний аналіз результатів, їхня інтерпретація.

Практичне значення одержаних результатів.

Результати роботи можуть бути використані при проектуванні та розрахунках систем освітлення адміністративно – виробничих приміщень без достатнього природнього світла.

Апробація результатів дослідження.

Основні положення та результати дипломної роботи магістра доповідалися на VII Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів ТНТУ імені Івана Пулюя «Актуальні задачі сучасних технологій» (28-29 листопада 2018 року, м. Тернопіль).

Структура і обсяг роботи.

Дипломна робота магістра складається зі вступу, шести розділів, загальних висновків та списку використаних джерел. Загальний обсяг роботи 112 сторінок, 13 таблиць і 21 рисунок; список літератури з 48 найменувань на 4 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

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

У першому розділі «Літературний огляд» подано коротку характеристику існуючих систем природного освітлення будівель та їх конструктивного вирішення залежно від призначення й ефективного використання, відзначено роль освітлення в забезпеченні внутрішнього мікроклімату приміщень будівель, проведено аналіз стану і розвитку методів розрахунку та проектування природного освітлення.

У другому розділі «Основна частина» показано, що приміщення, розташовані поблизу світлових отворів, найефективніше можуть використовувати природне світло – на рис.1 показані схеми будинків які використовують найбільш ефективні системи освітлення.

З рисунку представленого на видно, що приміщення, розташовані поблизу вікон будинків (фасадів або під дахом), найбільш ефективно можуть використовувати природне світло, що надходить через відповідні світлові

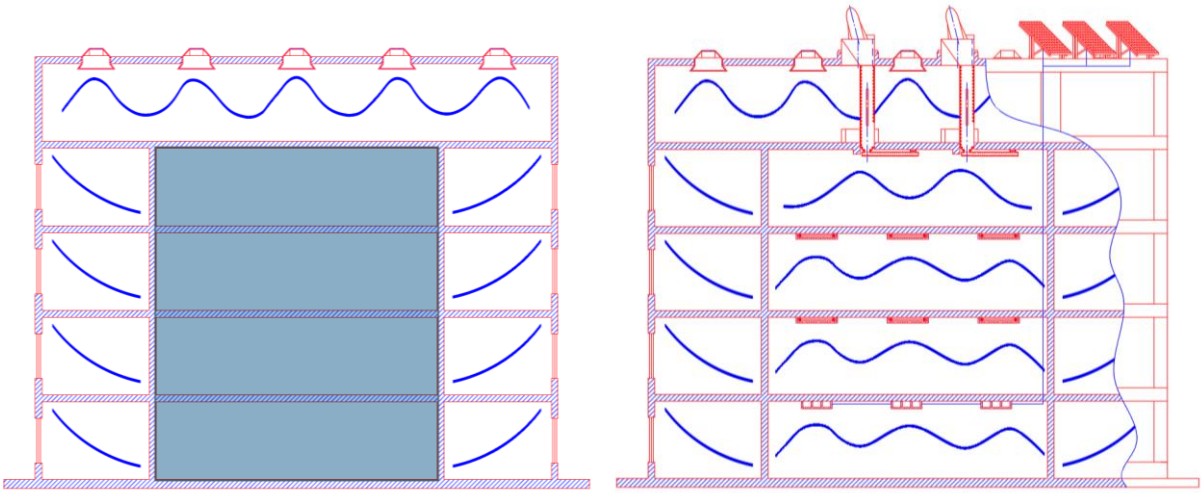


Рис.1. Схема будинків в яких використовуються найбільш ефективні системи освітлення

отвори. При використанні ліхтарів верхнього світла необхідно передбачати сонцезахисні конструкції, але навіть разом з цими додатковими витратами системи з такими ліхтарями залишаються економічно доцільними.

Але фасадні отвори та ліхтарі на даху не можуть забезпечити достатню освітленість приміщень, які розташовані в глибині будинку. Для освітлення цієї частини будинку в роботі пропонується використовувати комбіновані системи освітлення суміш природного та електричного освітлення.

В другому розділі магістерській роботі розглядаються наступні системи природного освітлення: фасадні світлові отвори (звичайні вікна), міжкімнатне вікно, світлові отвори на даху, ліхтарі верхнього світла, світлові колодязі а також світловодні системи освітлення.

Поряд з природним освітленням розглядаються наступні системи електричного освітлення: світильники з люмінісцентними лампами та лампами розжарення, світлодіодні світильники а також, як варіант живлення світлодіодних світильників фотоелектричними панелями, які розташовані на даху будинку.

Природне освітлення приміщень може бути забезпечене через вертикальні і горизонтальні отвори в стінах і стелі. Розміри вікон і їх розташування визначають розрахунком природної освітленості приміщень, згідно ДБН (державних будівельних норм).

Світло проходить крізь скло не повністю - приблизно 8% видимого випромінювання відбивається, а близько 2% поглинається. Іншими словами, лише 90% природнього світла проникає в приміщення. Через однокамерний склопакет проходить 82%, а через двокамерний - 74%. Світлопропускання нижче 60% не рекомендується.

Бокові світлові отвори забезпечують високу природну освітленість на вертикальних поверхнях. На горизонтальній поверхні рівні освітленості менші, ніж від світлових отворів верхнього природного освітлення. Чим вище розташовано вікно і чим менший коефіцієнт використання природного освітлення, тим рівномірнішим буде освітлення і дальше від зовнішньої стіни будуть знаходитись ділянки які відповідають середній горизонтальній освітленості

приміщення.

Якщо говорити про ефективність систем бокового освітлення то вартість одиниці світлового потоку, що проникає через бокові світлові отвори майже в три рази вища, ніж для систем з світильниками верхнього світла. Це пояснюється меншим проникненням природного світла (з 1 - 2,5 раз для розсіяного світла і 1 - 5 раз з врахуванням прямого сонячного світла), а коефіцієнт використання світла, що проникає через вертикальний світловий отвір, майже в два рази менший, ніж в системі з ліхтарями верхнього світла.

На рис.2. показана системи природного освітлення на основі світловоду.

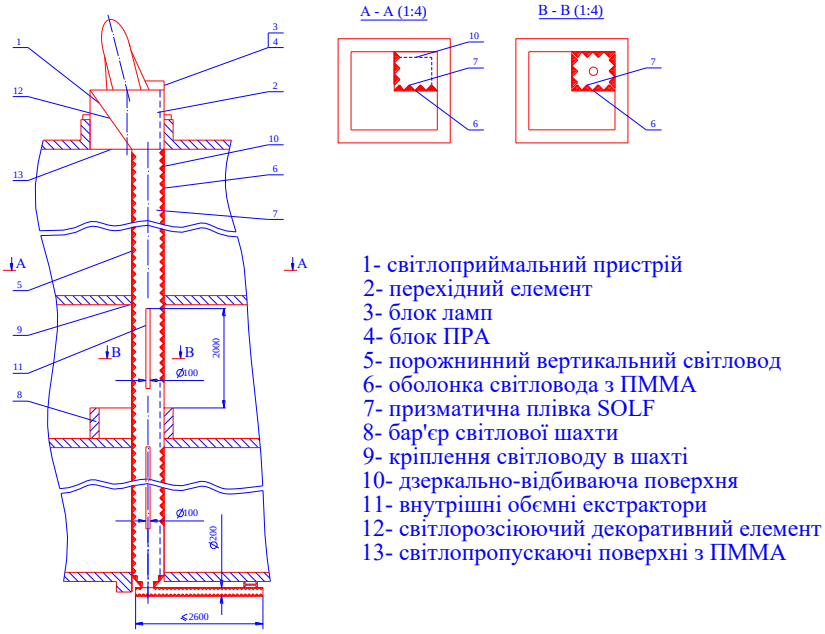


Рис.2. Світловодні системи введення світла в будинок

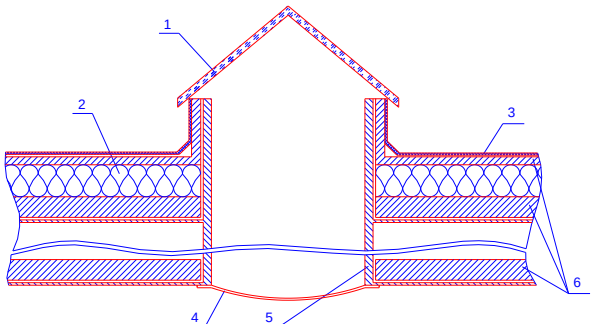
Світловодні системи освітлення дозволяють передавати потоки світла на великі відстані у підземні приміщення або в приміщення розташовані у центральних зонах будівель. Ці системи детально вивчені, вони містять світловоди з пристроєм захоплення природного світла з зовнішнього боку і перерозподілу світла всередині приміщення. Як правило, ввідний пристрій на даху і внутрішнє приміщення з'єднані з допомогою вертикальної труби. Внутрішня поверхня труби покрита відбиваючим матеріалом.

Аналіз показує, що світловодні системи можуть бути в три рази дешевшими за системи з міжкімнатними вікнами при введенні природнього світла на глибину одного поверху.

Вартість світловодної системи освітлення сильно залежить від вартості переобладнання даху, забезпечення надійного водовідведення і протипожежних перегородок навколо світловоду, будівництво таких систем може складати половину вартості всієї системи. Стандартні системи, як правило мають труби невеликого діаметру і тому не можуть забезпечити оптимальну величину світлового потоку. Світловий колектор системи, як правило знаходиться на даху, тому загальна ефективність світловодного освітлення виходить досить високою: близько 40% захопленого світлового потоку доходить до вихідного розсіювача. Життєздатність світловодної системи становить 30 років, вартість

заміни світлової труби складає 600 € - 800 € (з врахуванням вартості робіт). Тому за рахунок зменшення вартості цих складових можна суттєво підвищити ефективність всієї системи.

Ще одна система природного освітлення, яка заслуговує уваги, це система з використанням світлових колодязів на даху рис.3.



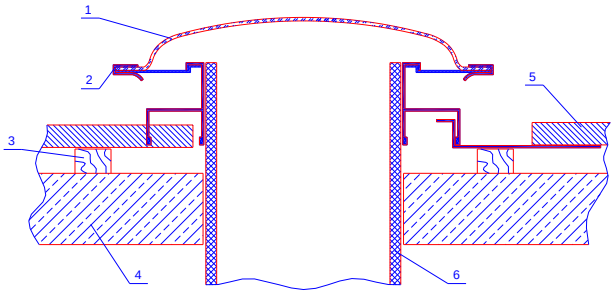
1 - засклення;
2 - теплоізоляція;
3 - гідроізоляція;
4 - розсіювач;
5 - анодований алюміній;
6 - перекриття.

Рис.3. Конструкція світлового колодязя

Верхня частина сонячного колодязя розташовується на даху, або сонячній стороні фасаду будівлі. Нижня частка виводиться в приміщення. Завдання верхньої частини - зібрати якомога більше сонячного світла. Для цього застосовуються різні колектори, рефлектори і навіть лінзи Френеля. Світло передається по колодязю з більшою ефективністю, якщо колодязь прямий і короткий.

Вартість експлуатації такої системи освітлення обходиться приблизно в чотири рази дорожче ніж системи освітлення з допомогою світловодів. Головна причина цього в меншій ефективності світлового каналу, так як вихідні втрати обох систем приблизно однакові. Крім того для встановлення світлового колодязя потрібна достатньо велика площа, якої деякі будинки не мають. Світлові колодязі досить дорогі в обслуговуванні і модернізації.

Ліхтарі верхнього світла рис. 4 можуть бути самих різних типів: прямокутні, трапецієвидні, пиловидні з вертикальним і нахиленим заскленням (шедові), зенітні.



1 - засклення;
2 - герметизація;
3 - балка;
4 - стропило;
5 - металічна покрівля;
6 - облицювання світлового колодязя.

Рис.4. Конструкція ліхтаря верхнього світла

Такі ліхтарі широко застосовуються у виробничих і торгових будівлях. Вони дешеві і зазвичай займають 4-8% загальної площі даху. Як правило, вони накриваються панелями з полікарбонату, що призводить до деякого зниження світлопропускання. Через горизонтальну площину вхідного отвору такі ліхтарі легко забруднюються, що також веде до зниження їх світло пропускання. Для

більш рівномірного розподілу освітлення всередині будівлі їх рівномірно розподіляють по даху.

В табл.1 наведені основні параметри найбільш розповсюджених і перспективних джерел світла та питомі амортизаційні витрати на освітлення для різних систем штучного освітлення.

Табл.1

Аналіз основних типів джерел світла по базовим характеристикам

Тип лампи	Вартість	Витрати за період експлуатації	Термін служби, год.	Ефективність, лм/Вт
Лампа розжарення	Низька	Дуже високі	1000	15
Лампа люмінісцентна	Висока	Прийнятні	10 000	80
Лампа світлодіодна	Дуже висока	Низькі	Більше 100 000	50

Системи освітлення з лампами розжарення, на сьогодні вважаються застарілими, вони мають низьку світловіддачу (15 лм/Вт) і короткий термін служби (1000 год.), тому цілком закономірно, що економічність освітлення з лампами розжарення ЛР нижча, ніж люмінесцентними лампами ЛЛ. Популярність ламп розжарення пояснюється: низькою собівартістю, зручністю в експлуатації і обслуговуванні, низькими початковими витратами встановлення, різноманітністю конструктивного оформлення, високою технологічністю, наявністю реальних шляхів подальшого удосконалення.

Люмінесцентні лампи, хоча і ефективніші за лампи розжарення майже в 5 разів, використовуються для освітлення приміщень не так широко це пояснюється їх більшою вартістю і меншим індексом кольоропередачі, великими розмірами і наявністю в них ртуті.

Тому, люмінесцентні лампи в основному застосовуються для освітлення громадських і виробничих приміщень, таких як медичні і освітні установи, вокзали, цехи промислових підприємств і т.п.

Світильники з світлодіодами це, поки що нове рішення, яке може стати стандартним в найближчі 5 років, завдяки інтенсивному вдосконаленню їх характеристик і зниженню вартості. Великий термін служби і високі капітальні витрати змінюють підхід до оцінки економічності цієї системи. Для наших оцінок ми вважали, що світлова віддача СД складає 50 лм / Вт, вдвічі меншої як для деяких сучасних білих світлодіодів (система СДС).

Ще одна система освітлення з використанням світлодіодів які живляться від фотоелектричних панелей. Більша частина автономних систем освітлення живиться від фотоелектричних (сонячних) панелей, що генерують електроенергію, яка накопичується в акомуляторах. Ми розглядаємо систему без акумуляторних батарей, в якій джерела світла прямо живляться від фотоелектричних панелей через регулятори потужності постійного струму.

Освітлення такими світлодіодними системами близьке за параметрами до освітлення, створюваного світловодними системами природного освітлення. І в тому і в іншому випадку світло всередині синхронізоване з умовами зовнішнього освітлення. Призначення системи - постачати світло в глибину будівлі. Параметри освітлення приміщень залежать від параметрів природного світла зовні. Вночі ця система не працює.

У третьому розділі «Спеціальна частина» наведено лістинг програми для розрахунку освітлення через прямокутні ліхтарі реалізований у середовищі Delphi та здійснено опис ліцензійного програмного забезпечення, яке використано для проведення розрахунків та представлення їх результатів.

У **четвертому розділі «Обґрунтування економічної ефективності»** проведено техніко-економічний розрахунок ефективності систем штучного та природного освітлення, на рис.5 показано результати розрахунків.

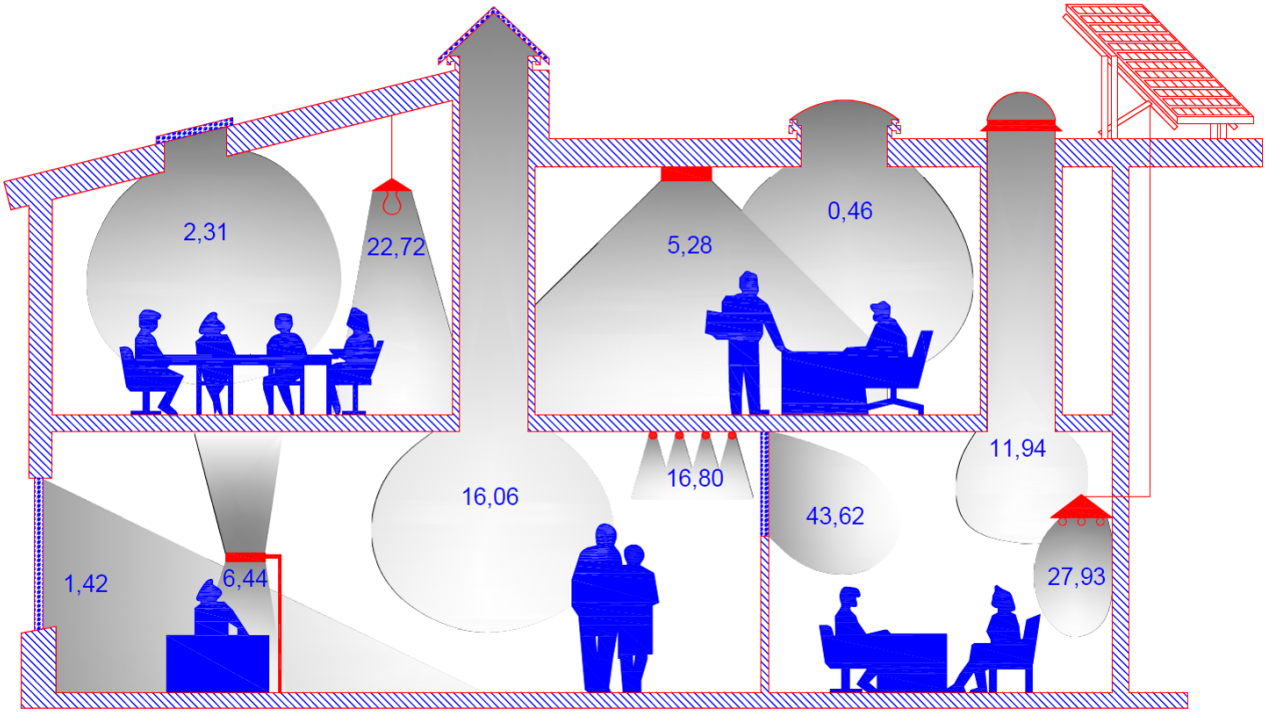


Рис.5. Різні системи штучного і природного освітлення та їх ефективність

З рисунку видно, що найефективнішими системами освітлення є світлові отвори, як бокові так і верхнього освітлення. Їх висока ефективність обумовлена в низькою вартістю встановлення і низькими експлуатаційними витратами протягом тривало періоду. Наступними за ефективністю можна вважати світильники з люмінесцентну систему освітлення.

Слідуючі світловоди і світлові колодязі ефективність яких в першу чергу залежить від довжини і форми, а також вартості матеріалів з яких вони виготовлені. Вони мають перспективу на майбутнє за рахунок здешевлення матеріалів з яких вони виготовлені. Наступними за ефективністю йдуть світильники з світлодіодами їх ефективність перш за все знижується високими початковими витратами, хоча термін служби в них досить тривалий а експлуатаційні витрати досить низькі. Слідуючими за ефективністю є лампи

розжарення – низька ефективність за рахунок короткого терміну служби та низької світлової віддачі. Світлодіодна система яка живиться від фотоелектричних панелей за рахунок високих капітальних витрат знаходиться на передостанньому місті по ефективності, в цієї системи досить не погана перспектива в майбутньому за рахунок здешевлення вартості фотометричних панелей і підвищені світлової віддачі світлодіодів. І на останньому місті по ефективності знаходиться міжкімнатне вікно високі початкові витрати на встановлення, низька кількість світла яку вони можуть забезпечити і відсутність будь-якої перспективи в майбутньому.

У п'ятому розділі «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях» запропоновано заходи щодо охорони праці в умовах комбінованого освітлення приміщень наведено Правила техніки безпеки при експлуатації освітлювального обладнання. Запропоновані заходи уникнення пожеж та ліквідацій наслідків надзвичайних ситуацій.

У шостому розділі «Екологія» запропоновані заходи по зменшенню шкідливого впливу експлуатації освітлювального обладнання на навколишнє середовище.

ВИСНОВКИ

1. Показано системи освітлення з лампами розжарення, які на сьогодні вважаються застарілими, вони мають низьку світловіддачу (15 лм/Вт) і короткий термін служби (1000 год.), тому цілком закономірно, що економічність освітлення з лампами розжарення ЛР набагато гірша, ніж з люмінесцентними лампами ЛЛ.

2. Доведено, що освітлювальні установки з ЛР при безперервній експлуатації обходяться дуже дорого і потребують заміни на ЛЛ або СД.

3. Підкреслено, що в залежності від еволюції робочих характеристик і вартості СД і фотоелектричних панелей вони могли б ширше використовуватися в освітлювальній практиці, в тому числі в варіантах з безпосереднім живленням СД від фотоелектричних панелей.

4. Вперше зазначено, що освітлення з допомогою світлових отворів на даху дорожче за освітлення від ліхтарів верхнього природного світла. Причина цього – в більш високій вартості квадратного метра світлового отвору і неповному враховуванні світла протягом світлового дня.

5. Доведено, що вартість світлового потоку, що проникає через вертикальні світлові отвори майже в три рази вища, ніж для систем з світильниками верхнього світла.

$\Rightarrow$ Світлові отвори будівель економічно доцільні, особливо, якщо вони довговічні та не трудомісткі в обслуговуванні.

$\Rightarrow$ Доведено, що системи природного освітлення, які вводять світло в глиб будівлі, як правило, економічно не ефективні (крім випадків, коли в них використовуються стандартні промислові елементи з високими оптичними властивостями і легкі в обслуговуванні).

6. Встановлено, що приміщення, розташовані поблизу вікон будинків (фасадів або під дахом), найбільш ефективно можуть використовувати природне світло, що надходить через відповідні світлові отвори.

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати роботи

Керецман М.Ю. Енергоефективність комбінованого освітлення приміщень. // М.Ю. Керецман, К.М. Козак, М. Я. Грежинець // Збірник тез доповідей. Матеріали VII міжнародної науково-технічної конференції «Актуальні задачі сучасних технологій» (м. Тернопіль, 28 - 29 листопада 2018р.) / М-во освіти і науки України, Тернопільський нац. техн. ун-т ім. І. Пулюя – Т.: ТНТУ, 2018. – С. 35.

АНОТАЦІЯ

Керецман М.Ю. Енергоефективність комбінованого освітлення приміщень. **– Рукопис.**

Дипломна робота магістра за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. – Тернопільський національний технічний університету імені Івана Пулюя, Тернопіль, 2018.

В роботі проведено оцінку енергоефективності різних систем освітлення, показано що вони з різною степінню ефективності здатні виробляти та розподіляти природне і штучне світло всередині приміщення, доведено ефективність різних систем освітлення приміщень.

В дипломній роботі вперше зазначено, що освітлення з допомогою світлових отворів на даху дорожче за освітлення від ліхтарів верхнього природного світла. Доведено, що вартість світлового потоку, що проникає через вертикальні світлові отвори майже в три рази вища, ніж для систем з світильниками верхнього світла. Доведено, що системи природного освітлення, які вводять світло в глиб будівлі, як правило, економічно не ефективні (крім випадків, коли в них використовуються стандартні промислові елементи з високими оптичними властивостями і легкі в обслуговуванні).

Ключові слова: енергетична ефективність, системи комбінованого освітлення, природне освітлення, штучне освітлення, джерела світла, коефіцієнт природного освітлення, робоча поверхня.

ANNOTATION

Keretsman Maryna. Energy efficiency of combined lighting in buildings. **– Manuscript.**

Diploma paper for a Master’s Degree, speciality 141 Electrical energetics, electrical engineering and electromechanics. – Ternopil Ivan Pul'uj National Technical University, Ternopil, 2018.

In this work an estimation of energy efficiency of different lighting systems has been shown, they are shown that they with different degrees of efficiency are capable

of producing and distributing natural and artificial light inside the premises, the efficiency of different lighting systems of premises has been proved.

In the thesis for the first time it was mentioned that the lighting with the help of light holes on the roof is more expensive than the lighting of the lanterns of the upper natural light. It is proved that the cost of the light flux penetrating through the vertical light openings is almost three times higher than that of the systems with the lamps of the upper light. It is proved that natural light systems that introduce light into the interior of the building are generally economically ineffective (except when they use standard industrial elements with high optical properties and are easy to maintain).

Keywords: energy efficiency, combined lighting systems, natural light, artificial lighting, light sources, natural light intensity, working surface.