

Центральноукраїнський національний технічний університет
Факультет будівництва та транспорту
Кафедра “Електротехнічні системи та енергетичний менеджмент”

“Допущено до захисту ”

Зав. кафедрою ЕТС та ЕМ

к.т.н., професор

_____Петро ПЛЄШКОВ

“ ____ ” _____ 2022р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА **за другим (магістерським) рівнем вищої** **освіти**

на тему

**“ Дослідження ефективності енерговикористання розгалуженої
системи освітлення із застосуванням імітаційного моделювання”**

Виконав здобувач вищої освіти
2 курсу магістратури, групи ЕНМ-20М
ОПП «Електротехнічні системи
електроспоживання»
спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»

_____Артем КОВАЛЕНКО

« ____ » _____ 2022р.

Керівник роботи

д.т.н., професор

_____Василь КЛИМЕНКО

« ____ » _____ 2022 р.

Рецензент _____

м. Кропивницький

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет факультет будівництва та транспорту

Кафедра електротехнічних систем та енергетичного менеджменту

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Галузь знань 14 Електрична інженерія

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітньо-професійна програма Енергетичний менеджмент

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри

Плещков П.Г.

«_____» _____ 2022 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗА ДРУГИМ (МАГІСТЕРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ

Коваленка Артема Вікторовича

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи (проекту) Дослідження ефективності енерговикористання розгалуженої системи освітлення із застосуванням імітаційного моделювання

Study of the efficiency of energy use of a branched lighting system using simulation modeling

2. Керівник роботи (проекту) Клименко Василь Васильович, д.т.н., професор

(прізвище, ім'я, по-батькові, науковий ступінь, вчене звання)

3. Строк подання студентом роботи до захисту 05.12.2022 р.

4. Мета та завдання випускної кваліфікаційної роботи (проекту)

1. Вступ; 2. Визначення енергоефективності інженерних систем за допомогою енергетичних аудитів; 3. Дослідження енергоефективності системи освітлення навчального корпусу №1 ЦНТУ; 4. Експериментальні дослідження рівня енергоефективності освітлювальних установок; 5. Розробка комп'ютерної моделі системи освітлення навчального лабораторного корпусу; Висновки; Список літератури

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
<i>Економічна частина</i>	<i>к.е.н., доц. Журило І.В.</i>		
<i>Охорона праці</i>	<i>к.т.н, доц. Савеленко І.В.</i>		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Вступ..</i>	<i>4.10.22</i>	
2	<i>Визначення енергоефективності інженерних систем за допомогою енергетичних аудитів;</i>	<i>11.10.22</i>	
3	<i>3. Дослідження енергоефективності системи освітлення навчального корпусу №1 ЦНТУ;</i>	<i>14.10.22</i>	
4	<i>4. Експериментальні дослідження рівня енергоефективності освітлювальних установок;</i>	<i>22.10.22</i>	
5	<i>5. Розробка комп'ютерної моделі системи освітлення навчального-лабораторного корпусу</i>	<i>28.10.22</i>	
6	<i>Охорона праці</i>	<i>5.11.22</i>	
7	<i>Економіка</i>	<i>15.11.22</i>	
8	<i>Висновки</i>	<i>22.11.22</i>	
9	<i>Оформлення пояснювальної записки та презентації магістерської роботи</i>	<i>25.11.22</i>	

Дата видачі завдання

«___» _____ 2022 р.

Підпис керівника _____

Завдання прийнято до виконання

«___» _____ 2022 р.

Підпис здобувача _____

АНОТАЦІЯ

Коваленко А.В. Дослідження ефективності енерговикористання розгалуженої системи освітлення із застосуванням імітаційного моделювання.

Study of the efficiency of energy use of a branched lighting system using simulation modeling.

Спеціальність 141 - «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». - ОПП «Енергетичний менеджмент». - Центральноукраїнський національний технічний університет. - м. Кропивницький, 2022 р.

Мета роботи є дослідження сучасних підходів при проведенні енергоаудиту систем освітлення вищих навчальних закладів. Аналіз стану проблеми енергоефективності електроспоживання в освітлювальних системах, визначив перелік заходів направлених на її підвищення. Впровадження системи моніторингу дало можливість дослідити вплив запропонованих заходів на рівень енергоспоживання будівлі та побудувати рейтинговий список енергоефективних заходів.

Результати досліджень, проведених в кваліфікаційній роботі, можуть бути використані у практиці проведення енергетичних аудитів для навчальних закладів.

ЕНЕРГЕТИЧНЕ ОБСТЕЖЕННЯ, ВТРАТИ ЕНЕРГІЇ, ЕНЕРГОАУДИТ, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ

ABSTRACT

Kovalenko A. **Study of the efficiency of energy use of a branched lighting system using simulation modeling.**

Дослідження ефективності енерговикористання розгалуженої системи освітлення із застосуванням імітаційного моделювання.

Specialty 141 - "Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics". - EPP "Energy Management". - Central Ukrainian National Technical University. - Kropyvnytskyi, 2022

The purpose of the work is to research modern approaches in conducting energy audits of lighting systems of higher educational institutions. Analysis of the state of the problem of energy efficiency of electricity consumption in lighting systems determined the list of measures aimed at its improvement. The implementation of the monitoring system made it possible to investigate the impact of the proposed measures on the level of energy consumption of the building and to build a ranking list of energy-efficient measures.

The results of the research conducted in the qualification work can be used in the practice of conducting energy audits for educational institutions.

ENERGY INVESTIGATION, ENERGY LOSSES, ENERGY AUDIT, ENERGY EFFICIENCY

ЗМІСТ

ВСТУП	11
РОЗДІЛ 1. ВИЗНАЧЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ІНЖЕНЕРНИХ СИСТЕМ ЗА ДОПОМОГОЮ ЕНЕРГЕТИЧНИХ АУДИТІВ.....	14
1.1.Задачі та методи проведення енергетичних аудитів	14
1.2.Методика проведення енергетичного аудиту	17
1.3.Задачі енергетичного обстеження	20
1.4.Світлотехнічний енергоаудит	22
Висновки до розділу 1	24
2.ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ ОСВІТЛЕННЯ НАВЧАЛЬНОГО КОРПУСУ №1 ЦНТУ	25
2.1.Аналіз поточного стану системи обліку	25
2.2 Дослідження енергоефективності системи освітлення.....	26
2.4. Аналіз енергетичних показників освітлювальних установок	28
Висновки до розділу 2	34
3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РІВНЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ОСВІТЛЮВАЛЬНИХ УСТАНОВОК	35
3.1 Розрахунок ефективності заміни ламп розжарювання на енергоефективні лампи	36
3.1 Розрахунок ефективності заміни люмінесцентних ламп на енергоефективні лампи	41
3.4 Енергоефективність використання електромагнітних пускорегулюючих апаратів на електронні	48
Висновки до розділу 3	55

4.РОЗРОБКА КОМП'ЮТЕРНОЇ МОДЕЛІ СИСТЕМИ ОСВІТЛЕННЯ НАВЧАЛЬНОГО-ЛАБОРАТОРНОГО КОРПУСУ	56
4.1.Комп'ютерне моделювання системи освітлення коридору	57
4.2.Комп'ютерне моделювання системи освітлення лекційної аудиторії	62
Висновки до розділу 4	68
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	69
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	71
ДОДАТКИ.....	71
ДОДАТОК А. Охорона праці.....	71
ДОДАТОК Б. Розрахунок економічного і енергетичного ефекту заходів з забезпечення ефективності енергоспоживання	71
ДОДАТОК В. Розрахунок економічної ефективності заміни ламп розжарювання на енергозберігаючі лампи	81
ДОДАТОК Г. Методика розрахунку економії електроенергії в діючих освітлювальних установках приміщень під час проведення енергетичного аудиту.....	86

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Енергоефективне споживання паливно-енергетичних ресурсів направлене на економію витрат за рахунками за комунальні послуги підприємств. Ефективне використання електроенергії є одним з доцільних способів підвищення прибутку. Питання енергоефективності в системах освітлення є актуальним у зв'язку зі значним зносом обладнання в освітлювальних мережах та їх низькою енергоефективністю

Підвищення енергоефективності можна досягти за рахунок впровадження системи енергоменеджменту, першим кроком якої є енергетичний аудит інженерних систем та енергетична сертифікація підприємства.

Аналіз літературних джерел вказує що поняття енергоаудиту у літературних джерелах дещо розмите і залежить від поставленої задачі або рівня технологічності об'єкту. Аналіз в більшості наукових джерел характеризує енергетичний аудит, як технічне обстеження енергетичних об'єктів для визначення та зменшення надмірних втрат енергії при впровадженні обґрунтованих енергоощадних заходів за їх економічним та екологічним рейтингом.

Мета і завдання дослідження. Метою кваліфікаційної роботи є теоретичний аналіз методів енергетичного аудиту систем освітлення та розробка енергоощадних заходів. Для вирішення поставленої мети в кваліфікаційній роботі вирішено такі завдання:

- розкрити теоретичні аспекти проведення енергетичного аудиту;
- провести моніторинг помилок, що виникають при формуванні звіту з енергоаудиту та розробити рекомендації одо їх уникнення;

- розглянути можливість використання інструментів енергетичного аудиту як засобу забезпечення ефективності енергоспоживання окремого суб'єкта господарювання;

- провести розрахунок економічного і енергетичного ефекту заходів з забезпечення ефективності енергоспоживання окремого суб'єкта господарювання.

Предметом дослідження є підвищення енергоефективності роботи системи освітлення навчальних за допомогою енергетичних аудитів.

Об'єктом дослідження електричні освітлювальні мережі навчальнолабораторного корпусу №1 вищого навчального закладу.

Методи дослідження. Теоретичною базою кваліфікаційної роботи є підходи енергетичного аудиту, наукові праці фахівців з теорії енергетичного аудиту, енергоефективності в системах освітлення та енергоефективних джерел світла. Для вирішення поставленої мети та розв'язку завдань у випускній кваліфікаційній роботі використано методи метод узагальнень для розуміння етапів енергетичного аудиту; аналізу і дедуктивний – для виявлення проблем в системах освітлення та пошуку шляхів підвищення їх енергоефективності методами яквимірювання, порівняння – для формулювання рейтингу енергоощадних заходів; табличний і графічний методи – для оцінки результатів дослідження та комп'ютерного моделювання.

При дослідженні були використані ДСТУ, ДБН щодо вимог до енергетичного аудиту в системах освітлення, роботи провідних фахівців щодо енергоефективного освітлювального електрообладнання та результати власних експериментів здобувача.

Практичне значення одержаних результатів. Результати дослідження отримані в кваліфікаційній роботі мають науково-практичне та можуть бути використані об'єктами комунальної власності для підвищення енергоефективності власних систем освітлення.

Перелік публікацій автора за темою дослідження. Основні положення кваліфікаційної роботи викладені під час участі у наукових студентських конференціях а саме: Аналіз енергоефективності роботи освітлювальних установок зовнішнього використання: матеріали міжнародної науково-практичної конференції АКІТ-2022 «Автоматика, комп'ютерно-інтегровані технології та проблеми енергоефективності в промисловості і сільському господарстві» (10-11 червня 2022 р., ЦНТУ);

Структура та обсяг дослідження. Робота складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Основний обсяг роботи – 71 сторінка, робота містить 19 таблиць, 18 рисунків, 2 додатки, 21 джерело інформації.

РОЗДІЛ 1. ВИЗНАЧЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ІНЖЕНЕРНИХ СИСТЕМ ЗА ДОПОМОГОЮ ЕНЕРГЕТИЧНИХ АУДИТІВ

1.1. Задачі та методи проведення енергетичних аудитів

Економія енергоресурсів представляє собою найкращий спосіб забезпечення перманентного росту попиту на електричну енергію. В переважній більшості розвинених країн цьому питанню приділяється велика увага, яка може бути вирішена за рахунок моніторингу енергоресурсів та енергетичних аудитів. На вітчизняному ринку енергоефективності енергетичний аудит вже давно є механізмом вирішення питань неефективного використання паливно-енергетичних ресурсів.

Енергетичний аудит може показати на перспективні напрямки роботи, на основі яких потрібно організувати і провадити практичну роботу з підвищення енергетичної ефективності аудитів.

Основне поняття енергоаудиту трактується у науковій літературі та під законодавчих актах по-різному.

Закон України «Про енергозбереження» роз'яснює суть енергетичного аудиту, як: «... визначення ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів та розроблення рекомендацій щодо її поліпшення»

В деяких джерелах енергетичний аудит є інструментом визначення оптимального співвідношення витрат енергетичних ресурсів і виграшу здобутого за рахунок використаних витрат представлених балансом енергії на досліджуваному об'єкті. [29].

В працях Яроша С. В. або Тищенка С. В. енергетичний аудит виступає у якості комплексу енергозберігаючих заходів з визначенням економічного ефекту через їх впровадження «...комплексне енергетичне обстеження будівлі, яке містить:

збір вихідних даних, складання балансів споживання та розподілу енергії, аналіз фінансової та технічної інформації, встановлення нераціональних втрат, розробку енергозберігаючих рішень, видачі рекомендацій і обчислення ефекту від їх впровадження»[42].

Федорчук О. С. доповнює поняття енергетичного аудиту аналізом інвестиційних витрат при впровадженні комплексу енергозберігаючих заходів і наполягає на проведенні комплексного обстеження об'єктів з метою визначення всіх можливостей економії енергії. Такий підхід, в свою чергу, сприяє розробці системи енергоменеджменту на підприємстві та дає можливість поетапного вирішення інвестиційної програми з економії паливно-енергетичних ресурсів за рахунок впровадження енергоощадних заходів» [31].

Процес гармонізації наших стандартів з європейськими наголошує на обов'язковому визначенні екологічного ефекту від впровадження енергоощадних заходів та технологій. В працях Джеджули В. В. відзначається неухильний зв'язок між екологічним фактором та запропонованими заходами, а саме: «... це техніко-економічне вивчення систем генерації, транспортування і споживання енергетичних ресурсів з метою виявлення і фінансового обґрунтування технічних, організаційних, економічних, виробничих шляхів зменшення споживання енергоресурсів та переходу на альтернативні джерела енергоспоживання, що дозволять досягнути реальної і суттєвої економії коштів та зменшення негативного екологічного впливу на навколишнє середовище» [10].

Аналіз літературних джерел вказує що поняття енергоаудиту у літературних джерелах дещо розмите і залежить від поставленої задачі або рівня технологічності об'єкту. Аналіз наукових джерел [10; 29; 31; 42] характеризує енергетичний аудит, як технічне обстеження енергетичних об'єктів для визначення та зменшення надмірних втрат енергії при

впровадженні обґрунтованих енергоощадних заходів за їх економічним та екологічним рейтингом.

Враховуючи не вище сказане, необхідно зазначити, що класифікація енергетичного аудиту призначенням, глибиною, складністю тощо (рис. 1.1) повинна відповідати технічним умовам замовника.

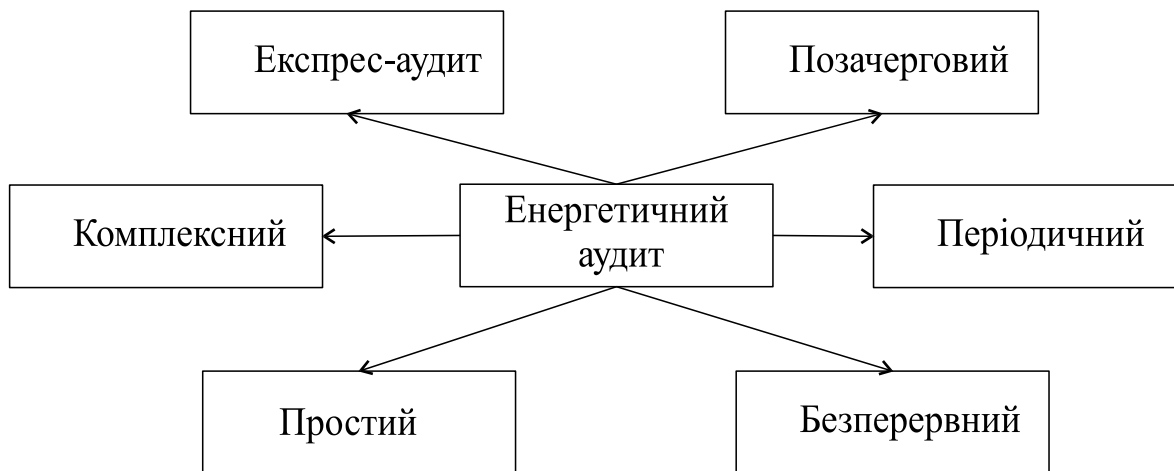


Рис. 1.1. Різновиди енергоаудитів

При проведенні експрес-аудиту проводиться аналіз споживання паливно- енергетичних ресурсів (ПЕР). Більш деталізовані енергоаудити охоплюють збір і контроль інформації про ПЕР для всіх підрозділів об'єкту, що підлягає обстеженню і передбачають розрахунок енергетичних балансів та визначення базового рівня споживання ПЕР. Під час детального аудиту проводять порівняння основних показників енергоспоживання подібними базовими суб'єктами господарювання. Обмін інформацією з подібними організаціями, допомагає підвищити ефективність аудиту.

Якщо замовники аудиту бажають одержати за короткий час помітний економічний ефект, застосовують простий аудит, задачею якого є визначення найбільш вагомих енергоефективних заходів які дозволять досить швидко

отримати позитивні економічні наслідки. Виконання складного аудиту завбачає ріст ефективності застосування ПЕР за рахунок пошуку внутрішніх можливостей економії та за рахунок різноманітних зовнішніх факторів.

Значення аудиту, що пов'язане з обстеженням або перевірці споживання одного із видів ПЕР, як правило називають технічним обстеженням однієї з технологічних або технічних систем об'єкту.

1.2. Методика проведення енергетичного аудиту

Для кожного суб'єкта потрібно розробити комплексну програму енергоощадження збереження паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР). Для виконання етапів даної програми необхідне проведення енергоаудитів та сертифікація енергетичного господарства підприємства. Тому основними завданнями енергетичний аудитів є проведення енергетичних обстежень, розробка заходів підвищення рівня енергоефективності, зменшення рівня споживання (ПЕР).

Загальний перелік завдань можна представити наступним переліком:

1. Виявлення неефективного режиму роботи технологічного устаткування, що ведеться на основі обстеження його режимів роботи і системного аналізу результатів моніторингу.
2. Пошук можливостей енергозбереження за типами енергоносіїв з оцінкою розмірів інвестицій.
3. Розроблення комплексу енергозберігаючих заходів з урахуванням їх впливу на зовнішнє середовище.
4. Розроблення енергетичного паспорта об'єкту.

Під час проведення обстеження повинна враховуватися специфіка

підприємства, аналіз використання ПЕР у порівнянні з нормативними показниками, якість техніко-економічного обґрунтування енергоощадних заходів, узгодження звітної документації.

На даний час використовується багато методик проведення енергетичних обстежень, в залежності від виду інженерних систем, типу обладнання або технологічних установок, призначення будівель. В них встановлений регламент який обумовлює місце, умови проведення вимірів, а також вимоги до необхідної вимірювальної апаратури.

На рис. 1.2 представлена послідовність дій при проведенні енергетичного аудиту.

Проведення енергетичних обстежень дозволяє реалізувати оптимальний перелік технічно-організаційних заходів направлених на енергоощадження ПЕР: зменшення енергетичного навантаження на постачальників паливно-енергетичних ресурсів, ефективне запровадження сучасних технологій енергоощадження, стимулювання впровадження системи енергоменеджменту з мониторингом ефективності запропонованих енергоощадних заходів на підприємстві або його складовій.

Таким чином при виконанні проведенні енергетичних аудитів необхідно враховувати напрямок пошукових завдань, запропонованих резолюцій, результатів виконання нормативних показників, якість техніко-економічного розрахунків та обґрунтування запропонованих енергоощадних заходів, тощо.

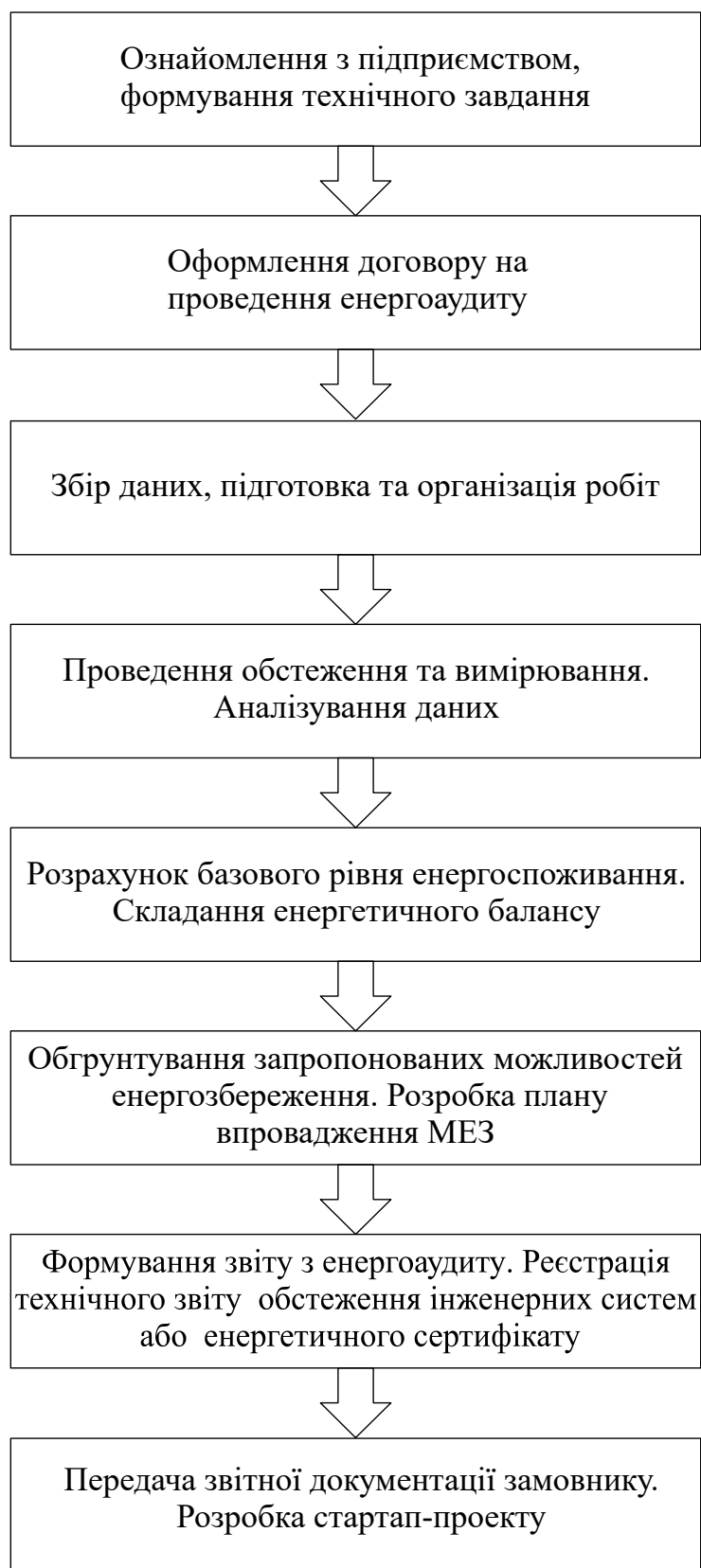


Рис. 1.2. Операційна схема енергетичного аудиту

Необхідність проведення енергоаудитів, може бути необхідною не лише

для організацій, для яких органами місцевого самоврядування висунутта умова обмеження своїх енерговитрат на комунальні послуги. Для багатьох підприємств є першочерговою задачею впровадження систем моніторингу споживання енергоресурсів, що допоможуть отримати інформацію в реальному часі про її розподіл та використання.

1.3. Задачі енергетичного обстеження

Епід час проведення енергетичного обстеження виконується певний перелік дій, який в загальному виді представлений на рис. 1.2. Розглядаючи кожний з них, як послідовний набір операцій необхідно враховувати технологічні та організаційні особливості підприємства (організації).

Першочерговими є обговорення з керівництвом підприємства/організації, мети енергетичного обстеження переліку задач, що потребують вирішення.

Збір технічних даних. На початку діяльності з обстеження підприємства аудитори прагнуть отримати уявлення про об'єкт, зорієнтуватися в його структурі, розібратися з особливостями технологічних процесів та зібрати інформацію про основне обладнання, виявити місця втрат енергоресурсів.

Отримати інформацію про споживання енергоресурсів та об'єм продукції в натуральному та фінансовому еквіваленті за останні три роки.

Джерелами інформації можуть виступати звітна документація з обліку енергоресурсів; наявні схеми енергопостачання; рахунки висталені від постачальників енергоресурсів; технічні дані на устаткування, що використовується; план-графік виконання енергозберігаючих заходів.

Якість отриманих даних визначають обсяг роботи, її вартість та строки роботи.

За відсутності інформації для оцінки енергоефективності роботи обладнання або підсистеми підприємства використовується інструментальне обстеження.

Необхідно максимально використовувати елементи обліку енергоресурсів, під час проведення вимірювань.

Проведення аналізу інформації визначає можливості зниження витрат на енергоресурси. Аналіз запропонованих рішень обов'язково повинен містити економічні показники енергоощадних заходів та ефективність застосування інвестицій.

Енергоощадні заходи в своєму складі повинні містити принцип отримання економії; розрахунок річної економії у матеріальному та фінансовому вираженні; необхідний перелік обладнання для впровадження заходу з визначенням орієнтовної вартості.

Необхідно визначати послідовність впровадження енергоощадних заходів враховуючи їх взаємовплив та категорією оцінки їх економічної ефективності.

За категорією оцінки економічної ефективності енергоощадні заходи поділяються:

- 1) Безвитратні (низьковитратні)
- 2) Середньовитратні;
- 3) Високovitратні.

За результатами енергетичного обстеження формується перелік звітної документації, що предстала в технічному завданні договору. На рис. 1.3. наведений характерний перелік звітної документації.

Не допускається непряма оцінка визначення ефективності використання ПЕР.

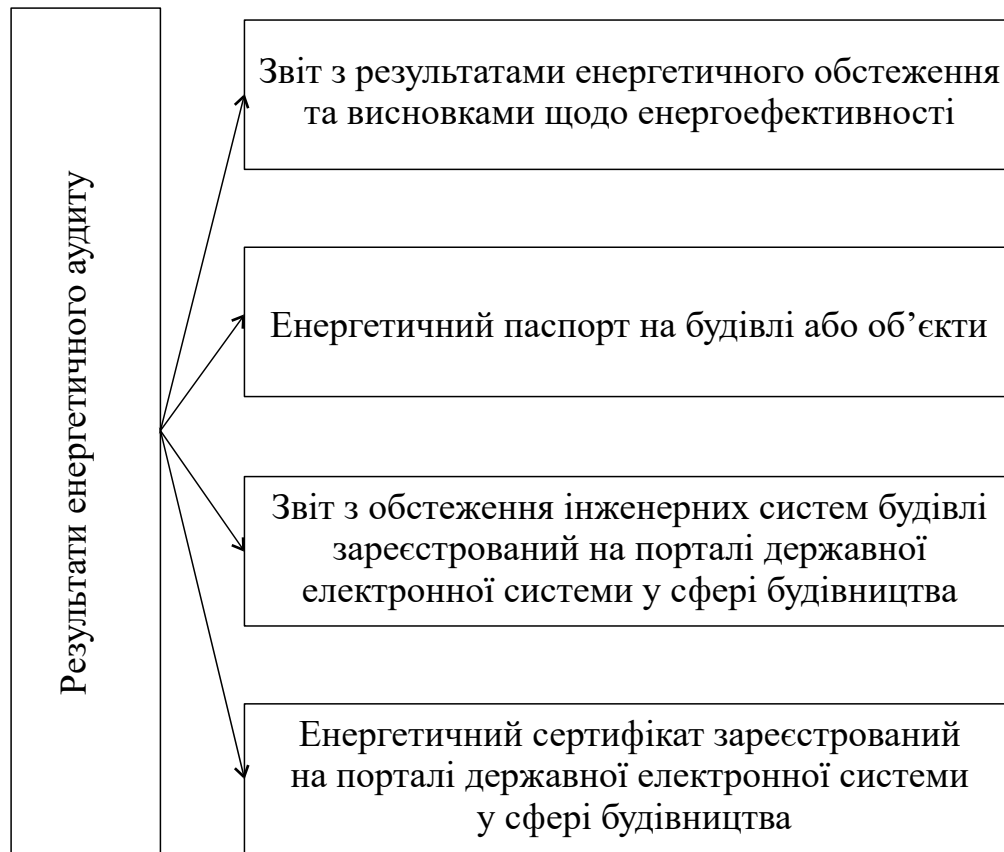


Рис. 1.3. Характерний перелік звітної документації за результатами енергоаудиту

Звіт за результатами енергетичного аудиту підписується учасниками обстеження, за наявності розбіжностей у звіті остаточне рішення приймає керівник роботи.

1.4. Світлотехнічний енергоаудит

Важливим компонентом системи енергетичного менеджменту є енергоаудит. Він дає здатність розглянути використання енергетичних ресурсів підприємств, викрити місця неефективного використання ресурсів, підготувати програму енергоощадних заходів.

Енергоаудит системи освітлення –обстеження елементів освітлювальної мережі підприємства з метою оцінки потенціалу енергоощадження та розроблення ефективних способів його використання. Для реалізації енергоаудиту системи освітлення необхідно виконати чотири етапи:

- 1) Ознайомлення з елементами освітлювальної мережі об'єкту, зотримати інформацію про джерела світла, визначити рівень освітленості, якість експлуатації та робочі умови експлуатації.
- 2) Оцінка ефективності роботи освітлювальної установки за питомими нормативними показниками.
- 3) Розроблення заходів для підвищення енергоефективності роботи освітлювальної установки.
- 4) Проведення фінансової експертизи запропонованих заходів.

Інструментальне обстеження проводять для визначення основних параметрів системи освітлення, які впливають на її енергоспоживання.

Перелік таких параметрів може бути розширений, проте основними з них виступають: освітленість робочої поверхні, час використання освітлення, значення напруги, коефіцієнт природної освітленості, коефіцієнти відбиття поверхонь в приміщенні.

Проведення інструментального обстеження в системі освітлення дозволяє отримати дефекти в світильниках, виконати перевірку на відповідність встановленої потужності ламп проекту, визначитися з схемою розташування світильників.

Обов'язково проводиться фіксація відповідності використаних типів світильників навколишньому робочому середовищу та їх поточний технічний стан. Інструментальні обстеження визначають рівень освітленості на робочих повернях.

Висновки до розділу 1

Аналіз літературних джерел надав можливість сформулювати основні напрямки проведення енергетичних обстежень для визначення енергоефективності використання ПЕР.

Аналіз задач енергетичних обстежень дозволив визначити мету можливої економії енергії в системах освітлення та вироблення пропозицій для її досягнення.

Визначені основні показники, що характеризують стан використання енергії в системах освітлення.

2. ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ ОСВІТЛЕННЯ НАВЧАЛЬНОГО КОРПУСУ №1 ЦНТУ

2.1. Аналіз поточного стану системи обліку

Навчальний корпус представляє семиповерхову будівлю з переходами. В застосоване коридорне планування з розташуванням приміщень з двох сторін, тому у більшості коридорів відсутня можливість використання природного освітлення, що частково вирішується наявністю світлових уступів.

У даному корпусі розташовуються керівництво ВНЗ, відділи бухгалтерії, навчальний та науковий фонд бібліотеки, зала засідання вченої ради, читальна зала, різні кафедри та приміщення допоміжних підрозділів. Більшість приміщень другого поверху - адміністративні.

Природне освітлення забезпечується через вікнами та відповідає вимогам ДБН В.2.5-28:2018 [10].

В якості джерел світла використані люмінесцентні лампи серії T8, компактні люмінесцентні та світлодіодні лампи. Освітлювальні прилади для люмінесцентних ламп представляють собою дволампові світильники. Перважна більшість з них відпрацювали свій ресурс та не відповідають сучасним вимогам до класу енергоефективності електрообладнання. В багатьох приміщеннях корпусу застосовані системи підвісних стель, де використані відносно сучасні вбудовані світильники.

Використані сучасні світильники з світлодіодними лампами забезпечують якість освітлення та мають кращі енергетичні показники у порівнянні з іншими типами ламп.

2.2 Дослідження енергоефективності системи освітлення

Для визначення спожитої потужності освітлювальних установок в корпусі виконано обстеження доступних приміщень. При виконання обстеження збиралась інформація про тип ламп, кількість і потужність ламп в світильниках, загальна кількість встановлених світильників, а також визначалась кількість непрацюючих ламп, або світильників. Результати обстеження освітлювального обладнання навчально-лабораторного корпусу №1 приведено у таблицях додатків Б.1-В.2.

В результаті обстеження системи освітлення навчально-лабораторного корпусу №1 визначення потужність освітлювальних установок, яка становить орієнтовно 21 кВт у коридорах і 157 кВт в інших приміщеннях різного призначення.

Як вказувалося у першому розділі на вибір енергозберігаючих заходів значно впливає вимірний рівень освітленості у приміщеннях. Для обстеження всистеми освітлення використаний портативний люксметр Testo 545, який пройшов атестацію.

За допомогою цифрового люксметра виконувалися вимірювання рівня освітленості на робочих поверхнях в аудиторіях та на підлозі у коридорах. Для визначення освітленості в приміщеннях застосовано методики наведені у ГОСТ 32498-2013: «Здания и сооружения. Методы определения показателей энергетической эффективности искусственного освещения». EN 15193:2007 Energy performance of buildings - Energy requirements for lighting «Енергетичні властивості будівель. Енергетичні вимоги до освітлення».

В процесі вимірювань виконувався контроль наступних параметрів:

- Коефіцієнт світлового відбиття підлоги, стелі та стін;
- кількість вимикачів у приміщенні;

- ступінь забрудненості вікон та відображаючих та розсіючих поверхонь світильників.

Результати вимірювань порівнювалися з нормованими показниками освітлення.

Аналізування отриманих даних дозволив визначити відсоток приміщень, з освітленістю нижче за нормовані показники. В приміщеннях та аудиторіях навчально-лабораторного корпусу №1 цей показник становить 9%, в коридорах – 91 % .

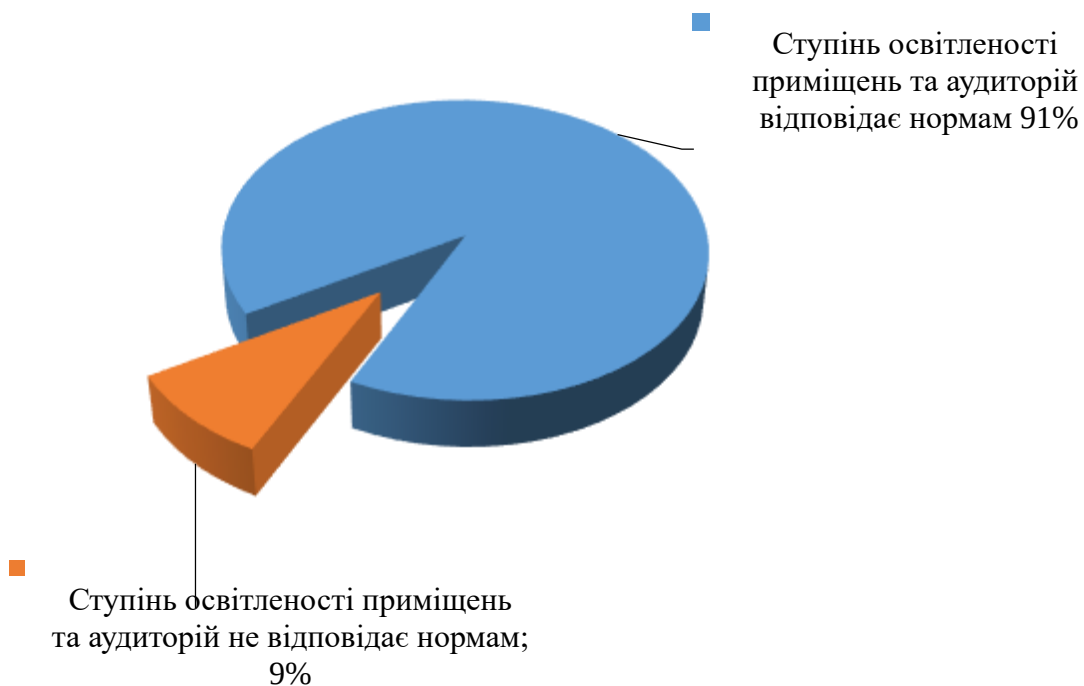


Рисунок 2.1 – Рівень освітленості приміщень навчально-лабораторного корпусу

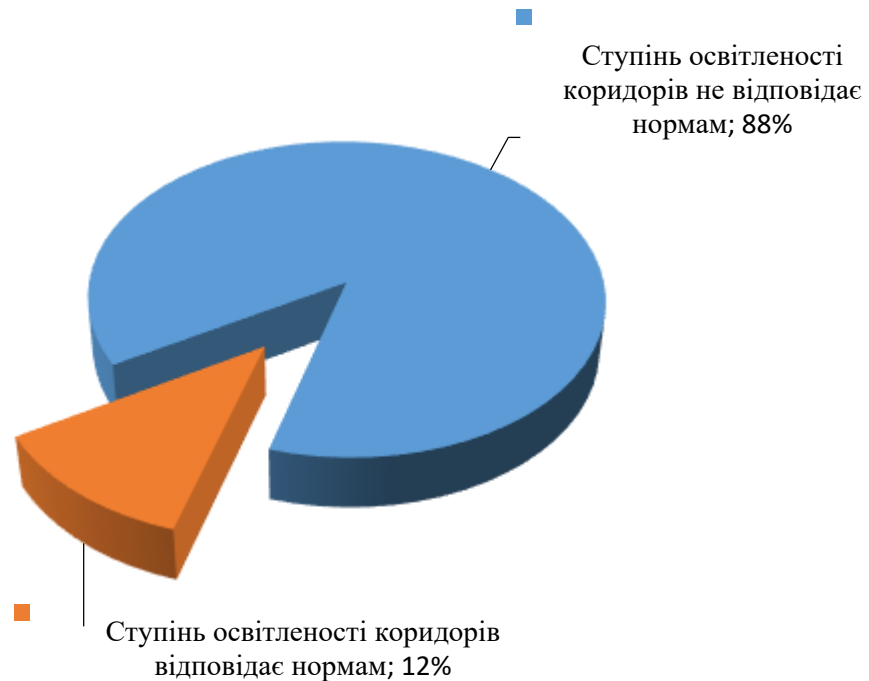


Рисунок 2.2 – Рівень освітленості коридорів навчально-лабораторного корпусу №1

2.4. Аналіз енергетичних показників освітлювальних установок

Використовуючі дані підрозділу 2.3 визначимо структуру освітлювальних установок та розподіл енергії між ними. В навчально лабораторному корпусі переважають три групи ламп, а саме: компактні люмінесцентні лампи, люмінесцентні лампи (серії Т8) та світлодіодні лампи, металогалогенні лампи. У коридорах – люмінесцентні лампи серії Т8 та світлодіодні лампи. Нижче наведені діаграми, що відображають розподіл ламп, що використуються за типом, потужністю та витратою електроенергії.

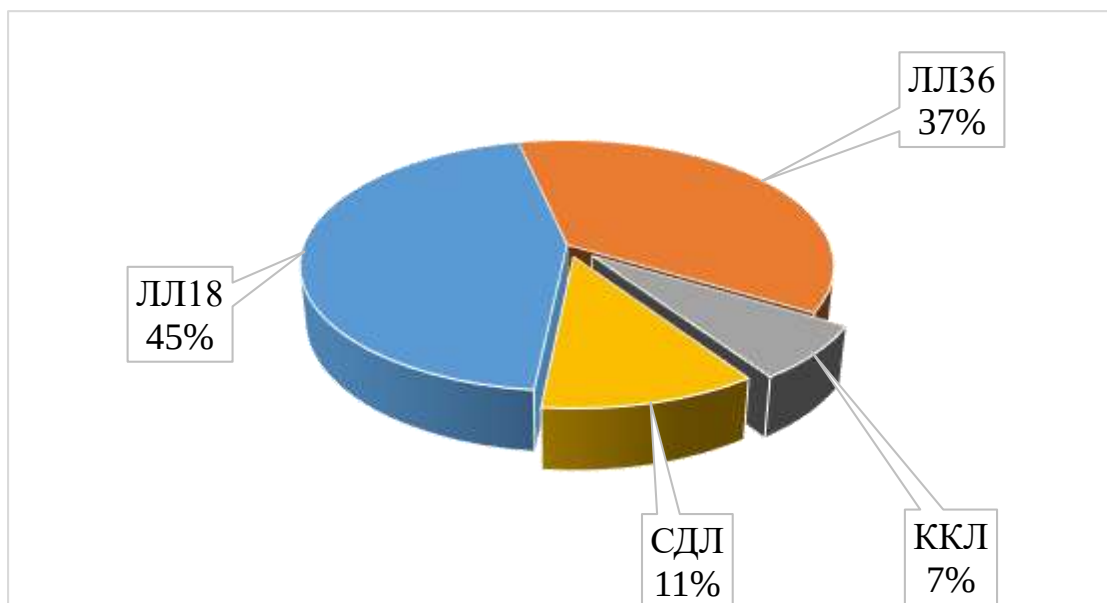


Рисунок 2.3 – Структура джерел світла в приміщеннях та аудиторіях корпусу за встановленою потужністю

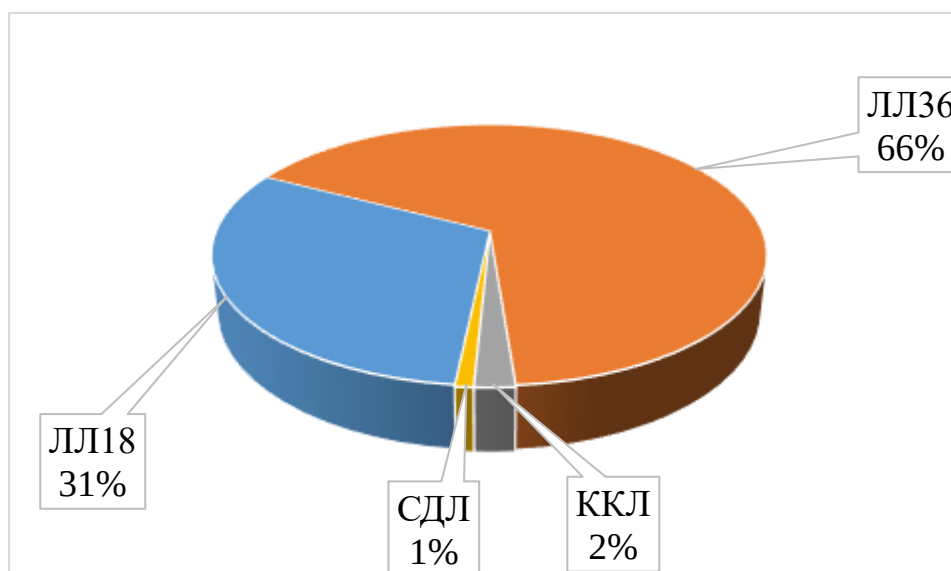


Рисунок 2.4 – Структура втрат електроенергії за типами ламп в приміщеннях та аудиторіях

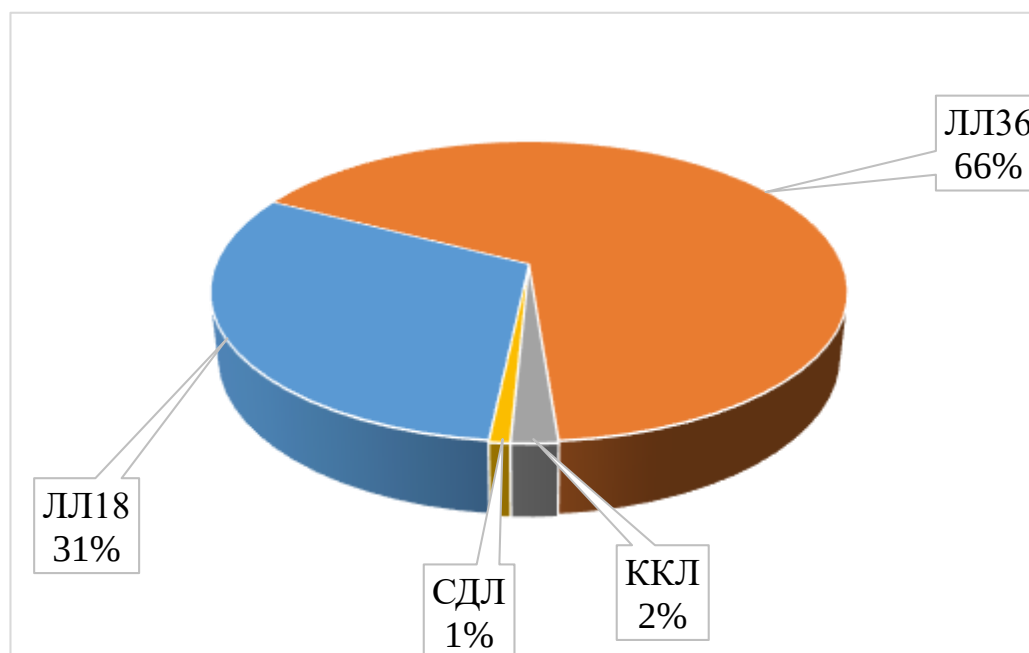


Рисунок 2.5 – Структура джерел світла в коридорах корпусу за встановленою потужністю

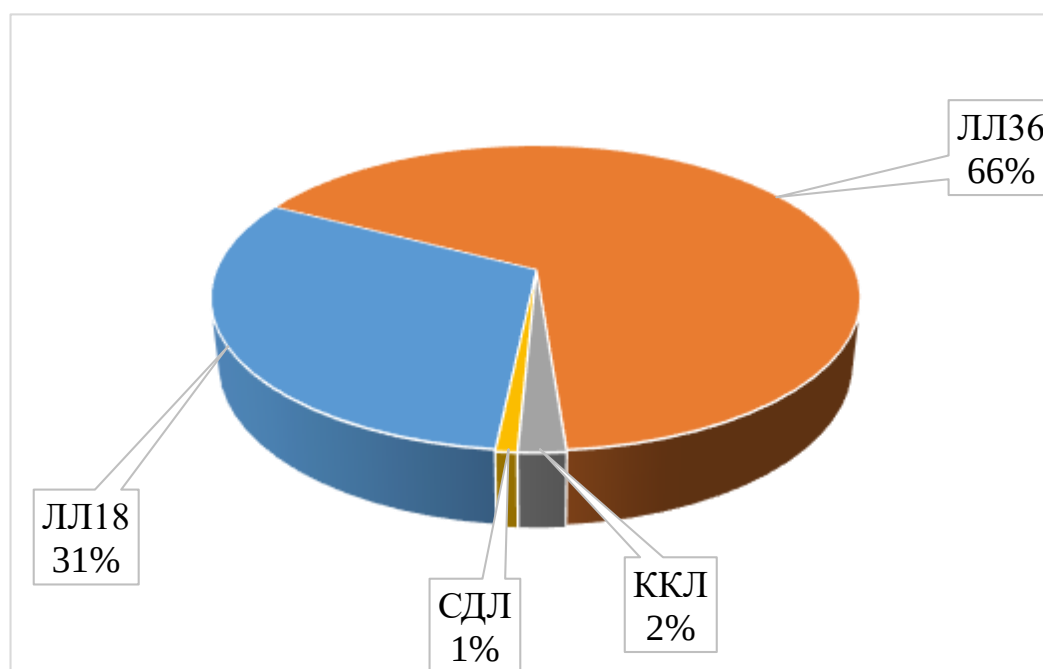


Рисунок 2.6 – Структура втрат електроенергії за типами ламп в коридорах

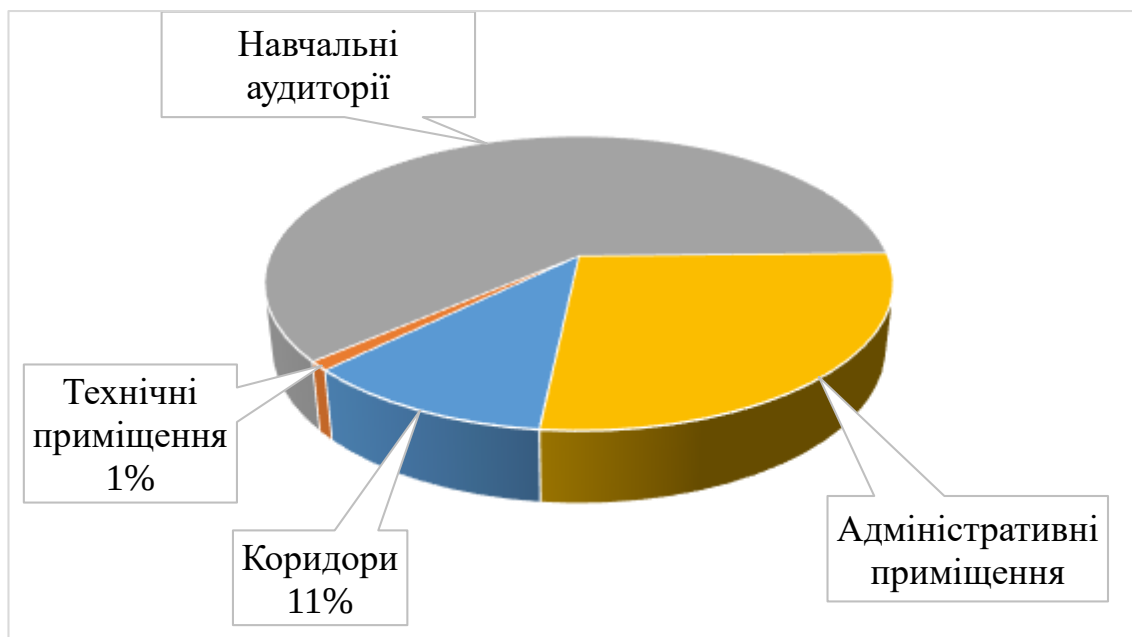


Рисунок 2.7 – Структура встановленої потужності джерел світла у корпусі залежно від призначення приміщень

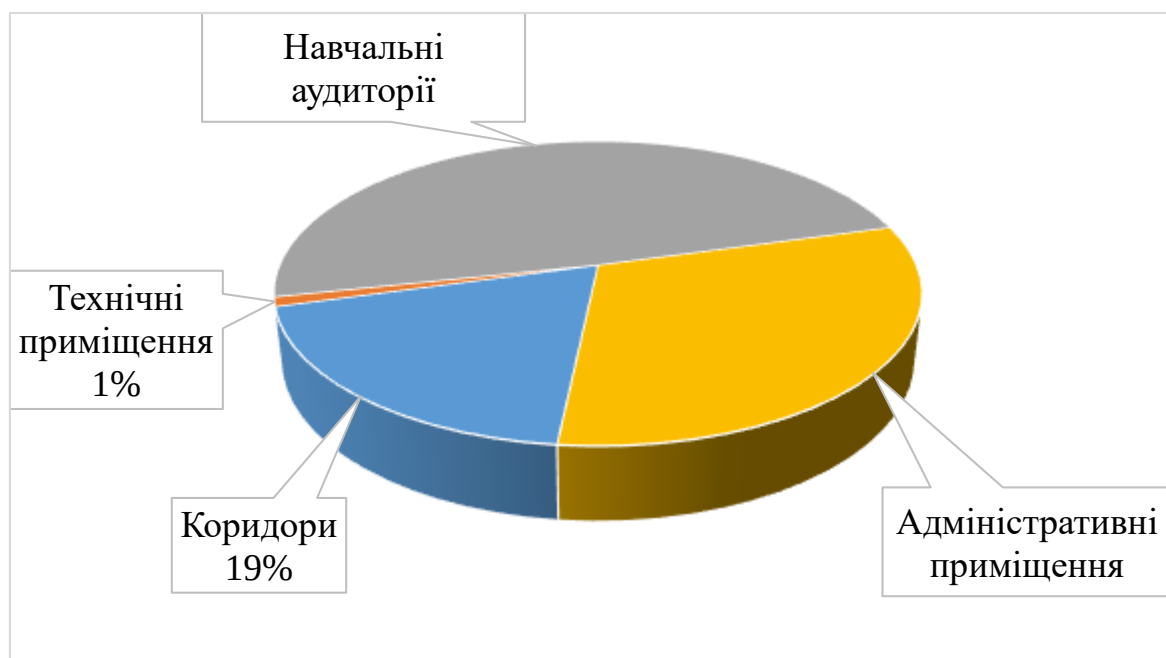


Рисунок 2.8 – Структура витрати електроенергії джерелами світла у корпусі залежно від призначення приміщень.

У розрахунку витрат електроенергії в освітлювальних установках, річне число годин використання світильників є одним з основних параметрів. Він

визначається за допомогою довідникової літератури, вихідні дані для нашої широти визначаються за КТМ 204 Україна 244-94 вибірка яких наведена у таблиці 2.1.

Оскільки м. Кропивницький розташований на широті 48 градусів, тому річне число годин використання освітлювального навантаження приймалося рівним 550 год за однозмінного режиму роботи і 2200 год за двозмінного режиму роботи.

Таблиця 2.1 – Річна кількість годин використання освітлювального навантаження

Призначення освітлювальної установки	Т _{річ} , год
Штучне освітлення:	
за однозмінного графіку роботи для широти, град:	
46	550
56	600
64	700
за двозмінної роботи, незалежно від широти	2250
у випадку графіку роботи в три зміни	4150
Зовнішнє штучне освітлення:	
Протягом темного періоду	3500
Протягом темного періоду наступної доби	2400

Для кожного приміщення навчально-лабораторного корпусу корпусу було встановлене число годин річного використання освітлювального навантаження.

Аналіз якості світла від світильників показав, що переважна більшість, випрацювала свій ресурс і має занижений ККД. Дволампові світильники з ЛЛ мають низьку енергетичну ефективність та вже морально застаріли.

2.5 Аналіз витрат електроенергії в системі освітлення

З даними енергетичного обстеження системи освітлення була визначена витрата електроенергії в навчально лабораторному корпусі. Загальний обсяг споживання електроенергії в навчальному корпусі становив 337346 кВт·год. Розподіл електроенергії в корпусі наведена на рисунках 2.9.



Рисунок 2.9 – Частка витрати електроенергії на освітлення в навчально-лабораторному корпусі

Результати отримані в даному розділі служили основою визначення заходів щодо економії електроенергії, їх економічної оцінки.

Висновки до розділу 2

Аналіз якості світла від світильників показав, що переважна більшість, випрацювала свій ресурс і має занижкий ККД. Дволампові світильники з ЛЛІ мають низьку енергетичну ефективність та є морально застарілими.

В приміщення та аудиторіях навчально-лабораторного корпусу №1 відсоток приміщень, з освітленістю нижче за нормовані показники становить 9%, в коридорах – 91 % .

В коридорах навчально-лабораторного корпусу №1 відсоток площ, з освітленістю нижче за нормовані показники становить 12%, в коридорах – 88 % .

3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РІВНЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ОСВІТЛЮВАЛЬНИХ УСТАНОВОК

Економія електроенергії в системах освітлення не може досягатися за рахунок зниження нормативних показників освітленості, спроби відключення частини освітлювальних приладів або економія електроенергії за рахунок вимкнення штучного освітлення при недостатньому рівні природного світла, негативно впливають на працездатність людини та приводять до зниження зорової працездатності, підвищення травматизму, погіршення психофізіологічного стану людей, а також призводять до зниження продуктивності праці та втрат якості продукції. Досвід розвинених країн вказує, що втрати через погіршення рівня освітленості перевищують вартість заощадженої електроенергії. Раціональне використання електроенергії в системах освітлення можливе за умови виконання наступних рекомендацій.

1. Заборона або скорочення використання ЛР з поступовою їх заміною на СДЛ з більшою світловою віддачею та тривалістю роботи.

2. Використовувати при реконструкції освітлювальних установок енергоекономічні джерела світла, що мають кращу світлову віддачу та кольоропередачу.

3. Застосування комбінованих систем освітлення, в приміщеннях з підвищеними вимогами до зорових робіт.

4. Вибір світильників за оптимальною кривою світла, що покращує світлорозподіл та оптимізує їх розміщення в приміщенні.

У приміщеннях з комбінованим освітленням організація роботи груп світильників в залежності від рівня освітленості враховуючи природню освітленість у різних зонах приміщення, що дає можливість отримати економію електроенергії до 20%.

Використання датчиків руху та інфрачервоними датчиків в громадських будівлях на сходах та в холах сприяє підвищенню енергоефективності систем освітлення.

5. Використання програмних продуктів на стадії проектування освітлювальних мереж при виконанні світлотехнічних розрахунків дозволяє швидко підібрати оптимальний варіант розташування світильників, встановлену потужність та економію за рахунок заміни типу світильника.

6. Своєчасне обслуговування світильників та світлопрозорих конструкцій в приміщеннях впливає на час роботи штучного освітлення та дозволяє отримати економію до 15 % за рахунок зниження тривалості її роботи.

8. Використання світлих відтінків стін та підлоги будівель збільшує коефіцієнт відбиття, що покращує загальний рівень освітленості у виробничих та громадських приміщеннях.

Впровадження запропонованих заходів, що направлені на підвищення енергоефективності знижують рівень споживання електроенергії в системах освітлення.

3.1 Розрахунок ефективності заміни ламп розжарювання на енергоефективні лампи

При проведенні капітальних ремонтів системи освітлення для використання необхідно вибирати освітлювальні установки з

енергоефективними джерелами світла, що мають високу світловіддачу та значний термін служби.

В останні роки широке впровадження мають світлодіодні лампи та компактних люмінесцентних ламп (КЛЛ), що характеризуються восьмикратною тривалістю горіння та п'ятикратною світловою віддачею у порівнянні з ЛР, демонструють необхідність значного розширення використання цих ламп у житловому секторі, комерційних та громадсько-адміністративних будівлях. СДЛ та КЛЛ мають вбудовані в лампу пускорегулюючі апарати під стандартні різьбові цоколі: E27, E14, B22.

Наявність подібних уніфікацій дозволяє без особливих проблем замінювати ЛР в існуючих світильниках потужністю до 100 Вт. Застосування таких СДЛ може бути найбільш ефективним в освітлювальних установах де джерелом світла є ЛР.

Без врахування терміну служби ламп економія електроенергії при переході від ЛР до енергозберігаючих ламп може досягати 80%. Порівняльні характеристики КЛЛ та ЛН наведені у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Порівняльні технічні характеристики КЛЛ та ЛР

ЛР		КЛЛ		СДЛ	
потужність Вт	світловий потік, лм	потужність Вт	світловий потік, лм	потужність Вт	світловий потік, лм
25	205	5	230	5	250
40	405	7	410	7	450
60	610	11	620	11	680
75	740	15	900	15	1050
100	1160	20	1250	20	1450

За даними виробників освітлювальних приладів виконано розрахунок капіталовкладень при модернізації освітлювальних установок для якого

проведено економічну оцінку. Результати розрахунку наведені в таблицях 3.2 та 3.3).

Таблиця 3.2 – Енергоефективність проведення заміни ЛР на КЛЛ

Джерело світла	ЛР	КЛЛ
1. Освітлювальна установка (освітлювальних установок):		
Кількість світильників, шт.	182	-
Вартість світильників, грн.	встановлені	0
Кількість ламп, шт	292	292
Вартість ламп, грн.	3212	35485
Вартість системи управління, грн.	-	0
Вартість монтажу (грн./світильник), грн.	-	0
ЗАГАЛЬНА ВАРТІСТЬ ВСТАНОВЛЕННЯ, грн.	3212	35485
2. Обслуговування освітлювальних установок:		
Кількість ламп, замінених за 8000 годин роботи, шт.	2336	0
Вартість заміни ламп, грн.	0	0
Витрати заміну ламп (що з ладу), грн.	25696	0
Вартість утилізації ламп, грн.	0	0
ЗАГАЛЬНА ВАРТІСТЬ ОБСЛУГОВУВАННЯ, грн.	25696	0
3. Електроспоживання освітлювальних установок:		

Потужність, споживана освітлювальних установок, кВт	19,88	3,691
Електроенергія, що споживається освітлювальних установок, кВт·год	159040	29528

Продовження таблиці 3.2

Джерело світла	ЛР	КЛЛ
ЗАГАЛЬНІ ВИТРАТИ НА ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЮЗ, грн.	487935	90592
4. Загальна вартість використання освітлювальних установок:	516843	126077
Економія, %	0	76
Річні експлуатаційні витрати, грн	80255	14155
Річна економія, грн.	-	65072
Окупність, років	-	0,55
Рентабельність інвестицій, %	-	183
5. Результати модернізації освітлювальних установок:		
Річне споживання електроенергії	24850	4614
Річне зниження споживання електроенергії	-	20236

Таблиця 3.3 – Енергоефективність проведення заміни ЛР на СДЛ

Джерело світла	ЛР	КЛЛ
1. Освітлювальна установка (освітлювальних установок):		
Кількість світильників, шт.	182	-
Вартість світильників, грн.	встановлені	0

Кількість ламп, шт	292	292
Вартість ламп, грн.	3212	33485
Вартість системи управління, грн.	-	0
Вартість монтажу (грн./світильник), грн.	-	0

Продовження таблиці 3.2

Джерело світла	ЛР	КЛЛ
ЗАГАЛЬНА ВАРТІСТЬ ВСТАНОВЛЕННЯ, грн.	3212	33485
2. Обслуговування освітлювальних установок:		
Кількість ламп, замінених за 8000 годин роботи, шт.	3336	0
Вартість заміни ламп, грн.	0	0
Витрати заміну ламп (що з ладу), грн.	28696	0
Вартість утилізації ламп, грн.	0	0
ЗАГАЛЬНА ВАРТІСТЬ ОБСЛУГОВУВАННЯ, грн.	28696	0
3. Електроспоживання освітлювальних установок:		
Потужність, споживана освітлювальних установок, кВт	19,88	3,091
Електроенергія, що споживається освітлювальних установок, кВт·год	159040	24528
ЗАГАЛЬНІ ВИТРАТИ НА ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЮЗ, грн.	487935	83541
4. Загальна вартість використання освітлювальних установок:	516843	108010
Економія, %	0	81
Річні експлуатаційні витрати, грн	80255	12157

Річна економія, грн.	-	75662
Окупність, років	-	0,25
Рентабельність інвестицій, %	-	187

Продовження таблиці 3.2

Джерело світла	ЛР	КЛЛ
5. Результати модернізації освітлювальних установок:		
Річне споживання електроенергії	24850	4213
Річне зниження споживання електроенергії	-	22237

За результатами розрахунку в таблицях 3.2-3.3, річне зниження споживання електроенергії у навчально-лабораторному корпусі за рахунок використання КЛЛ становитиме 20236 кВт, з терміном окупності 6 місяців. Річне зниження споживання електроенергії у навчально-лабораторному корпусі за рахунок використання КЛЛ становитиме 22237 кВт з терміном окупності 3 місяці.

3.1 Розрахунок ефективності заміни люмінесцентних ламп на енергоефективні лампи

Світлова віддача залежить від якості передачі кольору, потужності і знаходиться в межах від 40-59 лм/Вт (тепло-біла), 60-69 лм/Вт (холодно-біла) до 70-79 лм/Вт (універсально-біла, денна).

Колірна температура ламп лежить у межах від 2800 до 6000 К. Кольорові властивості ламп підходять для освітлення багатьох приміщень. Індекс кольору R_a лежить в межах 55-80.

Люмінесцентні лампи стійкі до змін напруги живлення, але зниження напруги живлення на 10% і більше може призвести до відмов у роботі. Також, ЛЛ досить чутливі до коливань температури навколишнього повітря. Оптимальною для люмінесцентних ламп є температура навколишнього середовища до 25°C. Відхилення температури призводить до зниження світлового потоку лампи, а при значних зниження унеможливають запалювання лампи.

Люмінесцентні лампи характеризуються тривалістю горіння від 9000 до 13000 год. Протягом терміну слугби відчувається зниження світлового потоку. На прикінці терміну служби світловий потік лампи знижується на 60%, не зважаючи на працездатність. В такому випадку їх подальша експлуатація вважається недоцільною через зниження освітленості та погіршення енергетичних параметрів.

Розробка нових типів ЛЛ стала з новим класом трисмугових люмінофорів призвело до появи нових трубчастих ламп.

У порівнянні зі існуючими люмінесцентними лампами конструкція таких ламп залучає на 38% менше скла та люмінофора, ніж подібні лампи старих серій Т8.

Лампи нових серій та СДЛ різнитимуться дуже високою світловіддачею: 96 лм/Вт для ламп потужністю 14 Вт, до 104 лм/Вт для ламп потужністю 35 Вт з колірною температурою 2700 - 6000 К та незначним спадом світлового потоку до 5%. Використання між склом і люмінофором в лампі прозорої захисної плівки збільшує стабільність світлового потоку та запобігає шкідливим реакціям що призводили до почорніння скла і люмінофора. Менший діаметр ламп нових серій має менший затіняючий ефект, що впливає на світлову віддачу. За рахунок чого лампи нових серій ефективніші на 4% за існуючі люмінесцентні лампи.

Через менші розміри лампах нових серій знижено маса ртуті до 3 - 5 мг, що збільшує їх екологічність у порівнянні з лампами серії Т8 з масою ртуті 10 - 20 мг.

В лампах нових серій використані трикомпонентні вузькосмугові люмінофори, які забезпечують високу якість передачі кольору. Вони характеризуються індекс кольоропередачі – $R_a = 80-90$. Лампи можуть виготовляються з різною колірною температурою «теплого» світла - 2700 К до холодного - 6500 К.

На світловий потік ЛЛ впливає температура навколишнього середовища. У лампах нових серій максимум світлового потоку припадає на температуру 35°C. У технічних каталогах ламп приведені дані світлового потоку, визначеного за цієї температури. Термін служби ламп нових серій – 20 000 год

На відміну від ЛЛ в СДЛ температура навколишнього середовища мало впливає на їх роботу. Крім того СДЛ можуть забезпечувати стійку роботу при зниженнях напруги більше 10 %. Світлодіодні лампи характеризуються тривалістю горіння від 20000 до 50000 год. Протягом терміну служби зниження світлового потоку практично не відчувається.

Таблиця 3.3 – Порівняльні характеристики ламп ЛЛ та СДЛ

Технічні параметри ($T_k = 4000\text{ K}$)	ЛЛ Т8		ЛЛ Т5	
Потужність, Вт	18	36	14	35
Світловий потік, лм	1150	2850	1350	3650
Світлова віддача, лм/Вт	64	79	96	104
Коефіцієнт кольору	60-69		80-90	

Робоча температура, °С	25	35
Тривалість горіння, год	9000-13000	20000
Зниження світлового потоку за 40% середнього терміну служби	20%	5%

Таблиця 3.4 – Порівняльні характеристики ламп ЛЛ та СДЛ

Технічні параметри	ЛЛ Т8		СДЛ	
Потужність, Вт	18	36	9	18
Світловий потік, лм	1150	2850	1350	3600
Світлова віддача, лм/Вт	64	79	96	104
Коефіцієнт кольору	60-69		70-80	
Робоча температура, °С	25		35	
Тривалість горіння, год	9000-13000		50000	
Зниження світлового потоку за 40% середнього терміну служби	20%		5%	

За характеристиками видно, що нового типу та СДЛ при меншій потужності мають більший світловий потік на 22-30% і світлову віддачу на 32-50%, а також термін служби на 50-500%.

Для обраного типу освітлювального обладнання виконано техніко-економічний розрахунок модернізації освітлювальних установок з економічною оцінкою цього даного заходу (див. таблиці 3.5 та 3.6).

Таблиця 3.5 – Техніко-економічний розрахунок модернізації люмінесцентних ламп Т8 на лампи нового зразка

Джерело світла	ЛЛ Т8 (встановлені)	ЛЛ Т51 з ЕПРА
1. Освітлювальна установка (освітлювальних установок):		
Кількість світильників, шт.	956	956
Вартість світильників, грн.	встановлені	573600

Продовження таблиці 3.5

Джерело світла	ЛЛ Т8 (встановлені)	ЛЛ Т51 з ЕПРА
Кількість ламп, прим.	1912	956
Вартість ламп, грн.	325040	133840
Вартість системи управління, грн.	-	0
Вартість монтажу (грн./світильник), грн.	-	0
ЗАГАЛЬНА ВАРТІСТЬ ВСТАНОВЛЕННЯ, грн.	325040	707440
2. Обслуговування освітлювальних установок:		
Кількість ламп, замінених за 20 000 годин роботи, шт.	1912	0
Вартість заміни ламп, грн.	0	0
Витрати заміну ламп (що з ладу), крб.	325040	0
Вартість утилізації ламп, грн.	32504	0
ЗАГАЛЬНА ВАРТІСТЬ ОБСЛУГОВУВАННЯ, грн.	357544	0
3. Електроспоживання освітлювальних установок:		
Потужність, споживана освітлювальних установок, кВт	68,8	33,5

Електроенергія, що споживається освітлювальних установок, кВт·год	1376640	669200
ЗАГАЛЬНІ ВИТРАТИ НА ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЮ, грн.	4223532	2053106
4. Загальна вартість використання освітлювальних установок:	4906116	2760546
Економія, %	0	44
Річні експлуатаційні витрати, грн	286317	128319

Продовження таблиці 3.5

Джерело світла	ЛЛ Т8 (встановлені)	ЛЛ Т51 з ЕПРА
Річна економія, грн.	-	156445
Окупність, років	-	4,52
Рентабельність інвестицій, %	-	22
5. Результати модернізації освітлювальних установок:		
Річне споживання електроенергії	86040	41825
Річне зниження споживання електроенергії	-	44215

Таблиця 3.6 – Техніко-економічний розрахунок модернізації люмінесцентних ламп Т8 на СДЛ

Джерело світла	ЛЛ Т8 (встановлені)	СДЛ
1. Освітлювальна установка (освітлювальних установок):		
Кількість світильників, шт.	956	956
Вартість світильників, грн.	встановлені	573600

Кількість ламп, прим.	1912	956
Вартість ламп, грн.	325040	133840
Вартість системи управління, грн.	-	0
Вартість монтажу (грн./світильник), грн.	-	0
ЗАГАЛЬНА ВАРТІСТЬ ВСТАНОВЛЕННЯ, грн.	325040	707440
2. Обслуговування освітлювальних установок:		

Продовження таблиці 3.6

Джерело світла	ЛЛ Т8 (встановлені)	СДЛ
Кількість ламп, замінених за 50 000 годин роботи, шт.	3824	0
Вартість заміни ламп, грн.	0	0
Витрати заміну ламп (що з ладу), крб.	650080	0
Вартість утилізації ламп, грн.	65004	0
ЗАГАЛЬНА ВАРТІСТЬ ОБСЛУГОВУВАННЯ, грн.	715084	0
3. Електроспоживання освітлювальних установок:		
Потужність, споживана освітлювальних установок, кВт	68,8	16,5
Електроенергія, що споживається освітлювальних установок, кВт·год	1376640	339200
ЗАГАЛЬНІ ВИТРАТИ НА ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЮ, грн.	4223532	1063126
4. Загальна вартість використання освітлювальних установок:	6906116	2760546
Економія, %	0	44
Річні експлуатаційні витрати, грн	286317	108319

Річна економія, грн.	-	175445
Окупність, років	-	2,52
Рентабельність інвестицій, %	-	22
5. Результати модернізації освітлювальних установок:		
Річне споживання електроенергії	86040	21825
Річне зниження споживання електроенергії	-	64215

Таким чином, річне зниження споживання електроенергії при заміні ЛЛ на лампи типу Т5 в навчально лабораторному корпусі №1 становитиме 44 215 кВт. Річне зниження споживання електроенергії при використанні СДЛ складе 64 241 кВт з строком окупності заходу за два з половиною роки.

3.4 Енергоефективність використання електромагнітних пускорегулюючих апаратів на електронні

Вольтамперна характеристика в газорозрядних лампах має спадаючу характеристику, напруга створення розряду в колбі цих ламп, як правило, має бути більша за напругу мережі. Тому для запуску всіх типів газорозрядних ламп необхідні спеціальні компоненти, що мають назву пускорегулюючої апаратури (ПРА).

Конструкція ПРА розміщає три компоненти: пристрій формування розряду, пристрій стабілізації струму в лампі і перетворюючий пристрій, що забезпечує підключення до електричної мережі живлення.

Стабілізація струму в розрядних лампах забезпечується за рахунок струмообмежувальних опорів. Окрім стабілізації струму такі елементи мають негативний вплив ККД лампи і часто їх називають – баластом. В якості баласту використовуються активні або реактивні опори (індуктивність або ємність). В практичному використанні найпоширеніші індуктивні опори, в ртутно-

вольфрамових лампах – використовуються активні опори активні. В практиці індуктивні опори представляють собою спеціальні електромагнітні апарати, що називають дроселями.

Для малопотужних металогазових та натрієвих ламп, що набули поширення в останні роки використовують електронні пускові апарати. Даний тип пускорегулюючої апаратури поєднує в собі функції - розряду, стабілізації струму та ЕМС.

Для забезпечення ЕМС ламп з електричною мережею в якості фільтрів використовуються конденсатори, підключенні паралельно зі світильником.

Кращі з дроселів витрачають приблизно 15% від загальної потужності лампи; для ламп потужністю 11 Вт і нижче втрати потужності у дроселі сягають потужності самих ламп. У таблиці 3.7 наведено дані про втрати потужності у дроселях.

Таблиця 3.7. Втрати електричної потужності на дроселях в ЛЛ

Клас Дросселя	Втрати потужності, Вт		
	ЛЛ 18 Вт	ЛЛ 36 Вт	ЛЛ 58 Вт
D	12	10	14
3	10	9	12
B2	8	7	9
B1	6	6	8

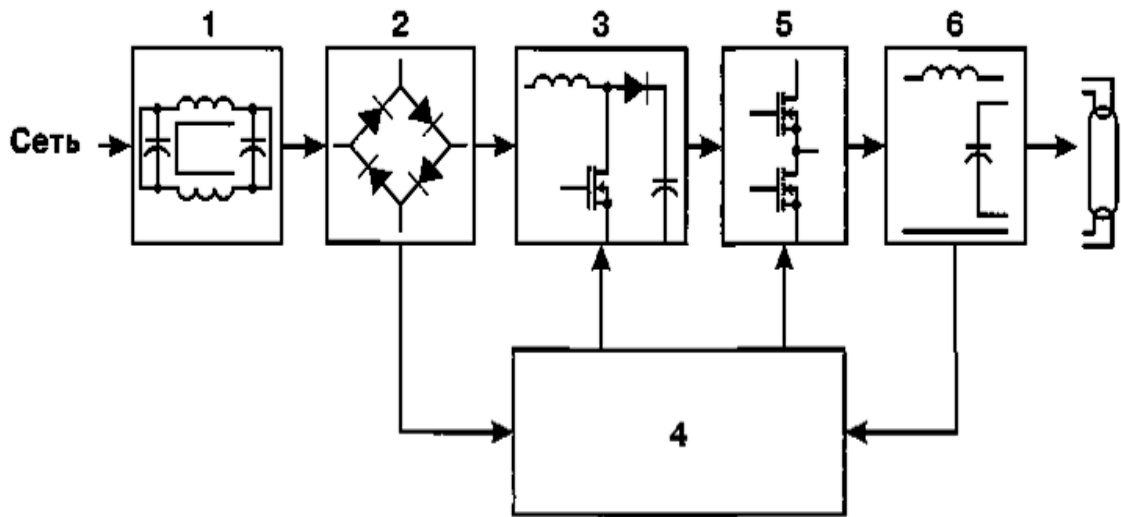
Найбільшими виробниками дроселів у Європі є австрійські та німецькі фірми Tridonic Atco та Vossloh Schwabe.

Дроселі мають декілька негативних ефектів, один з них це зсув фази між струмом та напругою. Іншим негативним ефектом є явище, що пов'язане з генерацією звуку або вібрації. За величиною звукових коливань дроселі поділяють на чотири групи:

- нормальний рівень шуму;
- знижений рівень шуму;
- низький рівень шуму;
- особливо низький рівень шуму.

Використання електронних апаратів включення (ЕПРА) також вносить в мережу ряд негативних явищ.

На рисунку 3.1 показана наведена структурна схема ЕПРА.



1- вхідний фільтр придушення ВЧ перешкод, 2 – діодний мост, 3- фільтр форми струму, 4 блок керуючих транзисторів, 5 - підсилювач потужності, 6 - вихідний фільтр.

Рисунок 3.1. Структурна схема ЕПРА

Для зменшення впливу ВЧ перешкод від роботи ЕПРА використовуються П-подібні реактивні фільтри для чого підключають ємність між нейтраллю і заземлюючим проводом.

Принципова різниця електронних схем від стартерно-дросельних виникає через різницю частоти струму, що буде проходити через лампу, в ЕПРА - 20-40 кГц, в ЕмПРА - 50 Гц.

Такий підхід має ряд переваг: Високочастотне живлення ламп дає сліду-
позитивні результати:

- 1) Збільшується світлова віддача ламп до 15%.
- 2) Значно зменшуються звукові перешкоди від дроселів.
- 3) Відсутнє миготіння ламп.
- 4) Можливість корекції $\cos\phi$.
- 5) Підвищується термін служби ламп з ЕПРА.
- 6) Інтегруються до систем автоматичного керування освітленістю.
- 7) Вага ламп з ЕПРА значно менша.

Світильники з ЕПРА мають ряд переваг у порівнянні з стартерно-
дроссельними варіантами включення, проте вартість ЕПРА знижує попит на їх
широке впровадження.

Таблиця 3.8 – Світлотехнічні параметри світильників з різними типа ПРА

Потужність лампи Рл, Вт	стандартні електромагнітні ПРА				електронні ПРА (ЕПРА)			
	Сумарна потужність комплекту Р _Σ , Вт	Світлов ий потік Ф, ЛМ	світлова віддача η комплекту		Сумарна потужність комплекту Р _Σ , Вт	Світлови й потік Ф, ЛМ	світлова віддача η комплекту	
			лм/Вт	%			лм/Вт	%
18	29	1450	50,0	100	19	1350	71,0	142
2x18	23	1450	63,0	100	18	1400	77,7	123
36	46	3450	75,0	100	36	3350	93,0	124
58	71	5400	76,0	100	55	5200	94,5	124

Таблиця 3.9 – Технічні характеристики ЛЛ з різними типами ПРА

Характеристики	Т8 з ЕмПРА	Т5 з ЕлПРА
Світлотехнічні		

Світловіддача, лм/Вт	40-79	96-104
Індекс кольоропередачі	55-79	80-90
Середній термін служби	9000-13000	20000
Енергетичні		
Коефіцієнт потужності, cosφ	> 0,9	> 0,96

продовження таблиці 3.9

Характеристики	T8 з ЕмПРА	T5 з ЕлПРА
4 лампи потужністю 18 і 14 Вт;	90	66
Світловий потік ламп, лм	4600	5400
Втрати потужності в ПРА	18	10
Стабілізація при зміні напруги мережі	ні	так
Спеціальні режими включення та роботи лампи	ні	Наявне регулювання світлового потоку
Енергозбереження при застосуванні АСУ	ні	до 80%
Комфортність освітлення		
Відбивачі	Алюміній анодований	Алюміній MIRO

Збільшення ефективності світильника		15%
ЕПРА		зменшення засліпленості
Лампа	стробоскопічний ефект	відсутність пульсацій

Зв технічними параметрами освітлювального обладнання проведено техніко-економічний розрахунок результати якого наведені в таблиці 3.10.

Таблиця 3.11 – Результати техніко-економічного розрахунку ефективності використання різних типів ПРА

Технічні характеристики	Світильники з ЛЛ		
	1-лампа	2-лампи	4-лампи
Кількість, шт.	9	956	218
Потужність потужність, кВт	36	72	144
Коефіцієнт втрат в ЕМПРА	1,25		
Витрата електроенергії у світильниках з ЕМПРА, кВт·год/рік	920	103291	20346
Коефіцієнт втрат в ЕПРА	1,05		
Витрата електроенергії у світильниках з ЕПРА, кВт·год/рік	773	86765	17091
Зменшення споживання електроенергії світильниками з ЛЛ, кВт·год/рік	147	16527	3255
Річна економія електроенергії, кВт·год	19929		
Економічний ефект, грн.	61143		
Вартість ЕПРА, грн.	177,5	320	354

Витрати закупівлю ЕПРА, грн.	384690
Вартість заміни ЕПРА, грн.	0
Термін окупності, рік	6,3
Разом витрати на захід загалом, грн.	384690

За результатами техніко-економічного розрахунку системи освітлення з різними типами ПРА річний ефект, за рахунок зниження споживання електроенергії становить 1992, 9 кВт. Орієнтовний термін окупності складає 6,3 роки.

Висновки до розділу 3

Світильники з ЕПРА мають ряд переваг у порівнянні з стартерно-дроссельними варіантами включення, проте вартість ЕПРА знижує попит на їх широке впровадження.

Люмінесцентні лампи нового типу та світлодіодні лампи характеризуються практично рівноцінними енергетичними показниками. Термін служби світлодіодних ламп вдвічі більший ніж у люмінесцентних ламп.

Річна економія електроенергії за рахунок впровадження ЛЛ типу Т5 або СДЛ в навчально лабораторному корпусі №1 становитиме 44215 кВт. Річне зниження споживання електроенергії при використанні СДЛ складе 64241 кВт з строком окупності заходу за два з половиною роки.

4. РОЗРОБКА КОМП'ЮТЕРНОЇ МОДЕЛІ СИСТЕМИ ОСВІТЛЕННЯ НАВЧАЛЬНОГО-ЛАБОРАТОРНОГО КОРПУСУ

Значне зменшення часу при проектуванні систем освітлення можна отримати використовуючи програмне забезпечення для автоматизованого проектування систем освітлення.

Насьогодні розроблено широкий ряд спеціалізованих програм для розрахунку систем освітлення, що мають різноманітний функціонал. Роботи в них виконується поетапно, Графічні редактори дозволяють відтворити графічну модель будівлі або приміщення для якого будуть виконуватися подальші розрахунки та моделювання світлових моделей. Найбільш простий та доступний для вирішення світлотехнічних та електротехнічних проектних рішень є німецький програмний комплекс DiaLux.

За допомогою даного комплексу досить просто змодельовати різноманітні ситуації для систем штучного освітлення, що дозволяє оперативно впливати на вибір кількості та типу світильників.

Первагами даної програми є довільний вибір геометрії приміщень, кольорів та текстур робочих поверхонь. Можна виконати розрахунки системи освітлення враховуючи затіняючий фактор меблів.

В результаті розрахунків можна отримати графічне розподіл освітленості на робочій поверхні в тривимірному вигляді заданого приміщення. Розрахунок дозволяє отримати карту границь освітленості в приміщенні, що представлені, ізолініями, відомість по встановленим світильникам з паспортними даними та виконати розрахунки енергоефективності обраної схеми освітлення.

Для прикладу було вибрано коридор четвертого поверху навчально-лабораторного корпусу №1. Приміщення має висоту стелі 3,1 метри.

4.1. Компьютерне моделювання системи освітлення коридору

Для розрахунку освітленості в коридорах в графічному редакторі програмного комплексу DiaLux розроблено модель коридору четвертого поверху. На рис 4.1. представлено зовнішній вид моделі в програмі DiaLux.



Рисунок 4.1 – Загальний вигляд коридору

В коридорі встановлено 18 світильників з ЛЛ та електромагнітними ПРА. Термін капітального ремонту системи освітлення, згідно графіку ППЗРЕ вже давно пройшов, якість освітлення не відповідає нормативним показникам. Світильники через значний знос обладнання мають низький ККД. На рисунку 4.1 світильники встановлені поперек довжини коридору.

Для існуючої системи освітлення проведено розрахунок освітленості, результати якого представлені в тривимірній моделі на рис. 4.2.

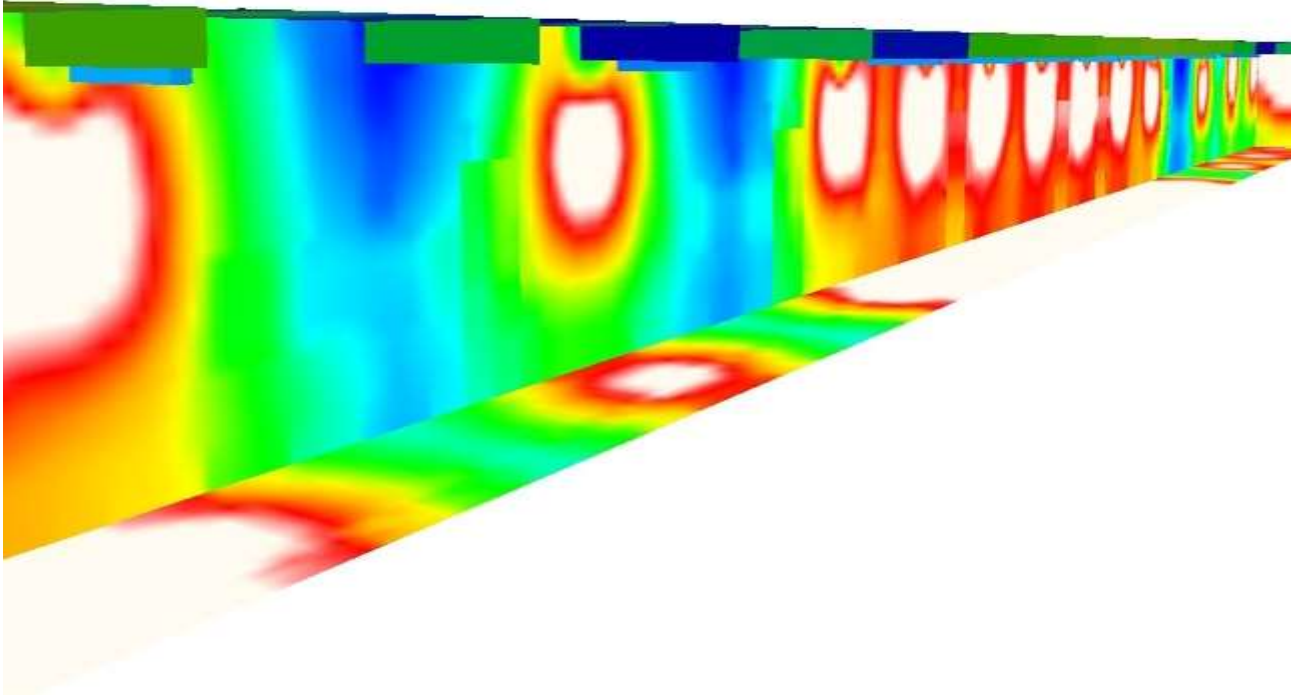


Рисунок 4.2 – Розподіл освітленості у коридорі

Результати моделювання роботи системи освітлення коридору наведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Освітленість основних елементів в коридорі

Поверхня	ρ [%]	$E_{\text{ср}}$ [лк]	$E_{\text{мін}}$ [лк]	$E_{\text{мак}}$ [лк]	$E_{\text{мін}}/E_{\text{ср}}$
Робоча площа	/	145	57	285	0,391
Підлоги	54	146	58	292	0,394
Стінки	11	121	32	1265	/

Таблиця 4.2 – Відомість встановлених світильників

№	Шт.	Позначення	Φ [Лм]	P [Вт]
<u>1</u>	<u>18</u>	<u>LIGHT INGTECHNOLOGIES - AOT.PRS 236 (1.000)</u>	<u>6700</u>	<u>72,0</u>

№	Шт.	Позначення	Φ [Лм]	Р [Вт]
Всього: 87100				936,0

Встановлена потужність приладів в коридорі: $6,52 \text{ Вт/м}^2 = 4,50 \text{ Вт/м}^2/100$ лк, загальна площа приміщення: $143,52 \text{ м}^2$. Середня освітленість робочих поверхонь, $E_{\text{ср}} = 145 \text{ Лк}$, потужність ламп в системі, $P = 936 \text{ Вт}$.

Аналіз розподілу освітленості, що представлений на рис 4.1. показав, що освітленість в коридорі розподілена нерівномірно, крива світла що використовується у світильниках даного типу використовується неефективно. Середня освітленість в коридорі перевищує нормовану (75 лк), проте є місця, де вона менша за нормативне значення. Використання світильників з електромагнітним ПРА збільшує потужність системи на 20-40%. В коридорі природне освітлення можливе лише фрагментарно в трьох точках.

Для підвищення енергоефективності системи проведена модернізація світильників. Запропоновано використати світильники з ЕПРА та лампами Т5, крім того, оптимізовано розташування світильників, згідно їх форми кривої світла, що забезпечить кращий розподіл освітленості в коридорі.

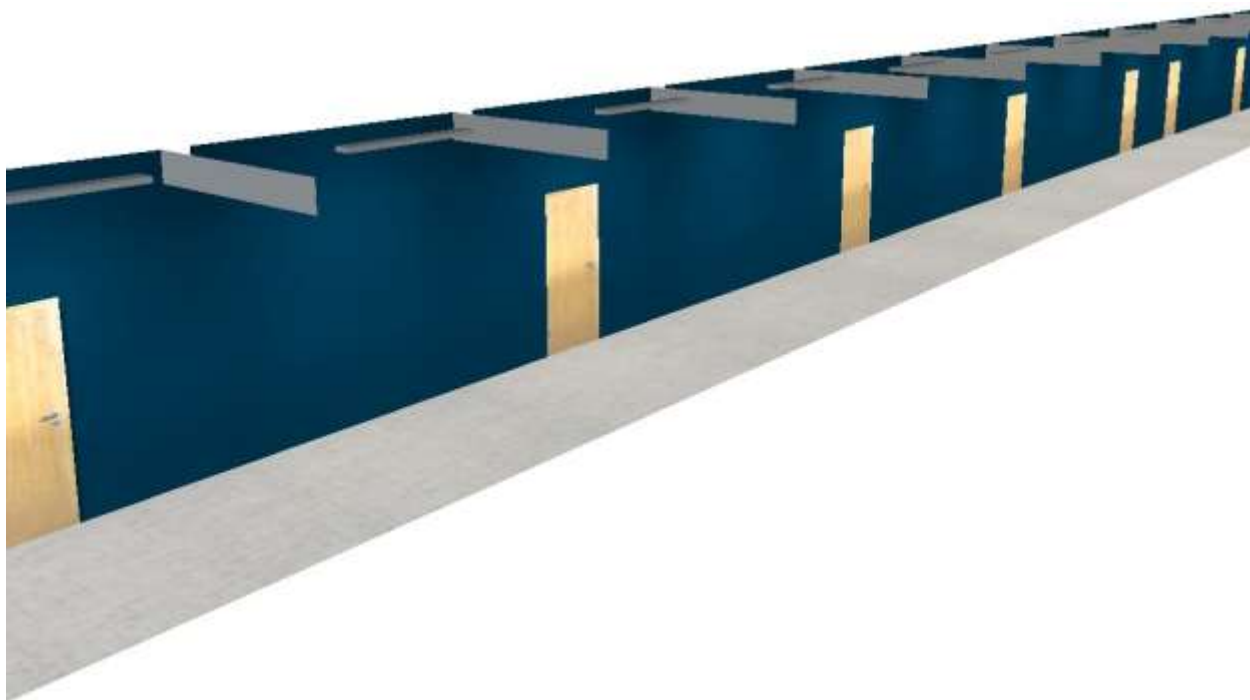


Рисунок 4.3 – Загальний вигляд коридору після заміни світильників

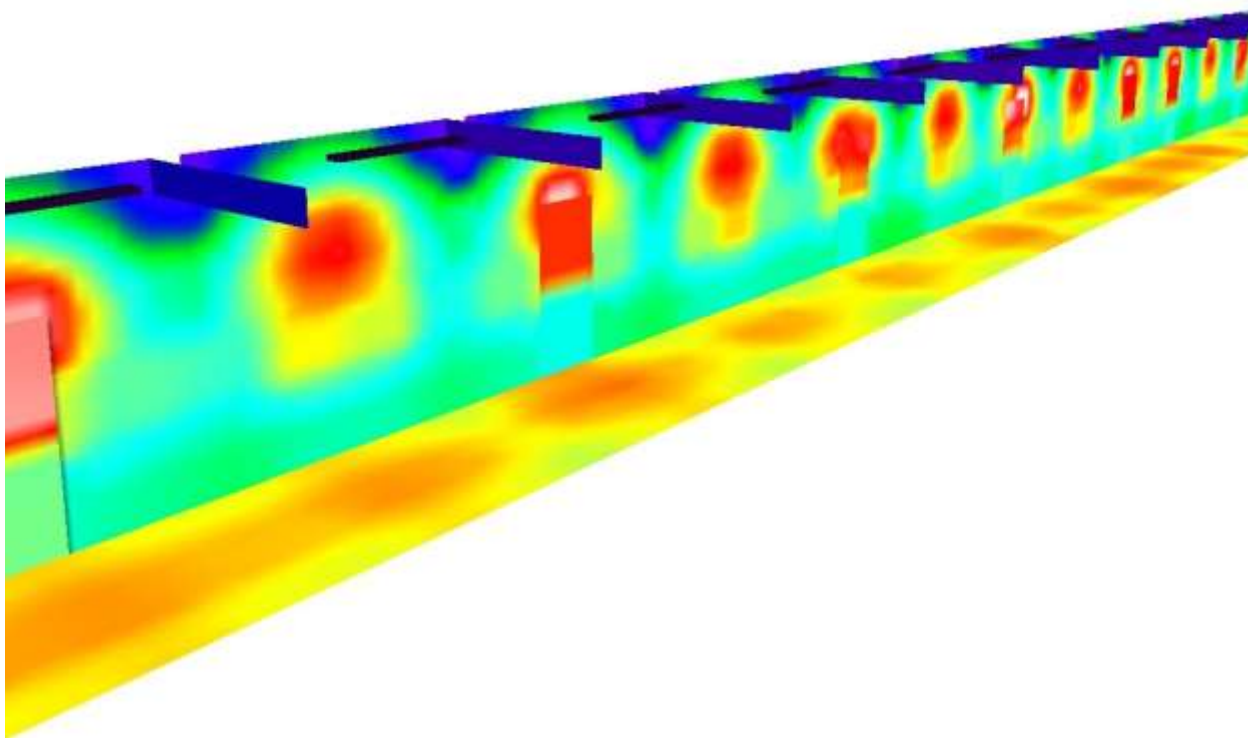


Рисунок 4.4 – Розподіл освітленості в коридорів після реконструкції системи освітлення

Таблиця 4.3 - Освітленість робочих поверхонь коридору

Поверхня	$\rho[\%]$	E_{cp} [лк]	E_{min} [лк]	E_{max} [лк]	E_{min}/E_{cp}
Робоча площина	/	81	39	285	0,480
Підлоги	54	80	47	298	0,583
Стінки	11	67	14	1250	/

Таблиця 4.3 – Відомість встановлених світильників

№	Шт.	Позначення (Поправочний коефіцієнт)	Φ [Лм]	P [Вт]
1	17	LIGHTINGTECHNOLOGIES - FLEX 135 (1.000)	3300	35,0
Всього: 56100				595,0

Модернізація системи освітлення дозволила зменшити встановлену потужність на 2,35 Вт/м².

Після модернізації системи освітлення:

- середня освітленість становить $E_{cp} = 81$ лк);
- світильники працюють з вищим ККД;
- енергоспоживання знизилося в 1,9 рази;
- тривалість роботи ламп нового зразка вдвічі більша за існуючі.

Дослідження потужності системи освітлення показали, що на коридори припадає 19 % (39332 кВт·год) від загальних витрат електроенергії на освітлення. Таким чином, модернізація системи освітлення в коридорах навчального корпусу окрім другого, дозволить отримати зниження споживання електроенергії на освітлення, орієнтовно 10351 кВт·год.

4.2.Комп'ютерне моделювання системи освітлення лекційної аудиторії

В якості іншого об'єсту дослідження було обрано лекційну аудиторію №1. Геометричні розміри приміщення 16×14 метрів з максимальною висотою стелі до 6 метрів. Загальний вигляд лекційної аудиторії представлений рис. 4.5.

В аудиторії встановлено 90 світильників що мають електромагнітні ПРА.

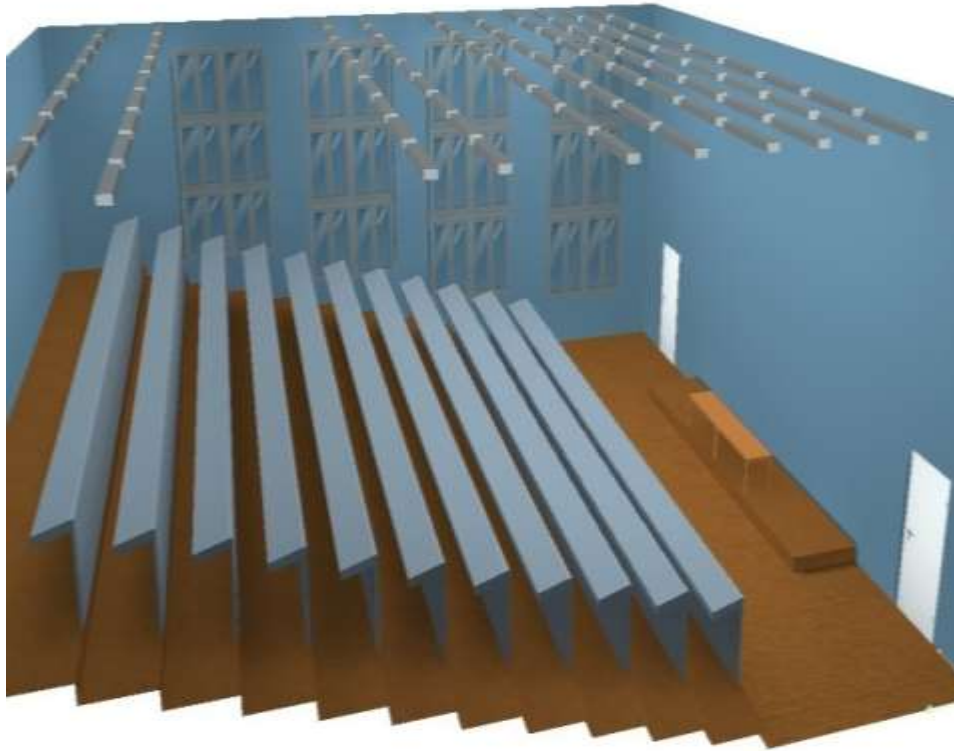


Рисунок 4.5 – Загальний вигляд лекційної аудиторії №1

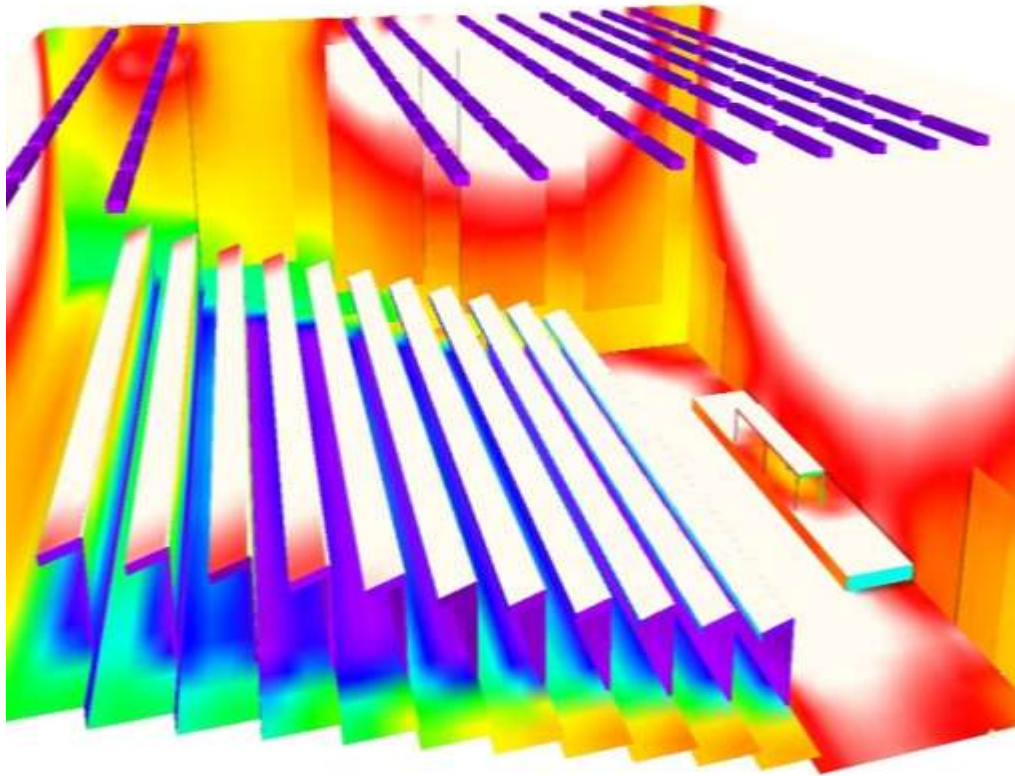


Рисунок 4.6 – Розподіл освітленості у лекційній аудиторії №1

Таблиця 4.4 – Освітленість основних елементів

Поверхня	ρ [%]	$E_{\text{ср}}$ [лк]	E_{min} [лк]	E_{max} [лк]	$E_{\text{min}}/E_{\text{ср}}$
Робоча площина	/	358	145	574	0,235
Підлоги	32	303	62	557	/
Стеля	66	353	153	557	0,330
Стінки	29	347	281	573	/

Таблиця 4.5 – Відомість встановлених світильників

№	Шт.	Позначення (Поправочний коефіцієнт)	Φ [Лм]	Р [Вт]
1	90	LIGHTINGTECHNOLOGIES - AOT.PRS 236 (1.000)	6700	72,0
Всього: 603000				6480,0

Аналіз енергоефективності в системі освітлення в лекційній аудиторії №1 показав, що середній рівень освітленості 358 лк не відповідає нормативним показникам, крім того використання ЕмПРА призводить до збільшення втрат в системі освітлення на 20%. Використання світлодіодних світильників або люмінесцентних ламп типу Т5 дозволить зменшити електроспоживання.

Використання сучасних ЛЛ та СДЛ за рахунок більш високого питомого світлового потоку ламп та оптимізації їх розміщення зменшить встановлену потужність навантаження.

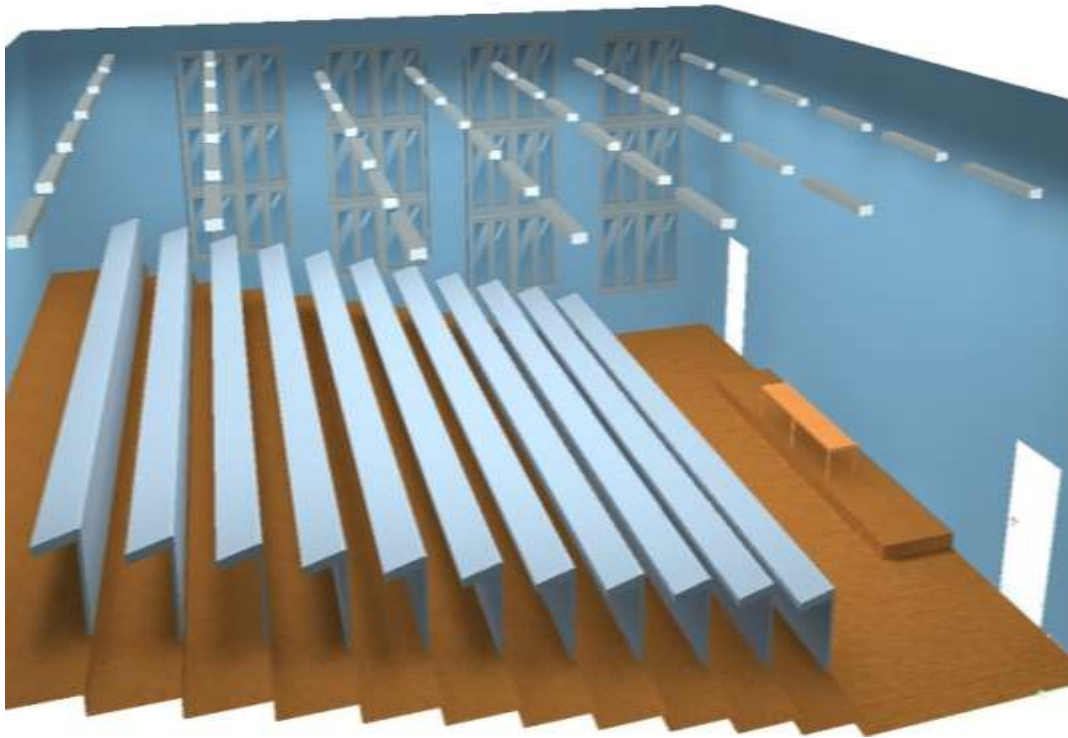


Рис 4.7 – Загальний вигляд лекційної аудиторії №1 після модернізації

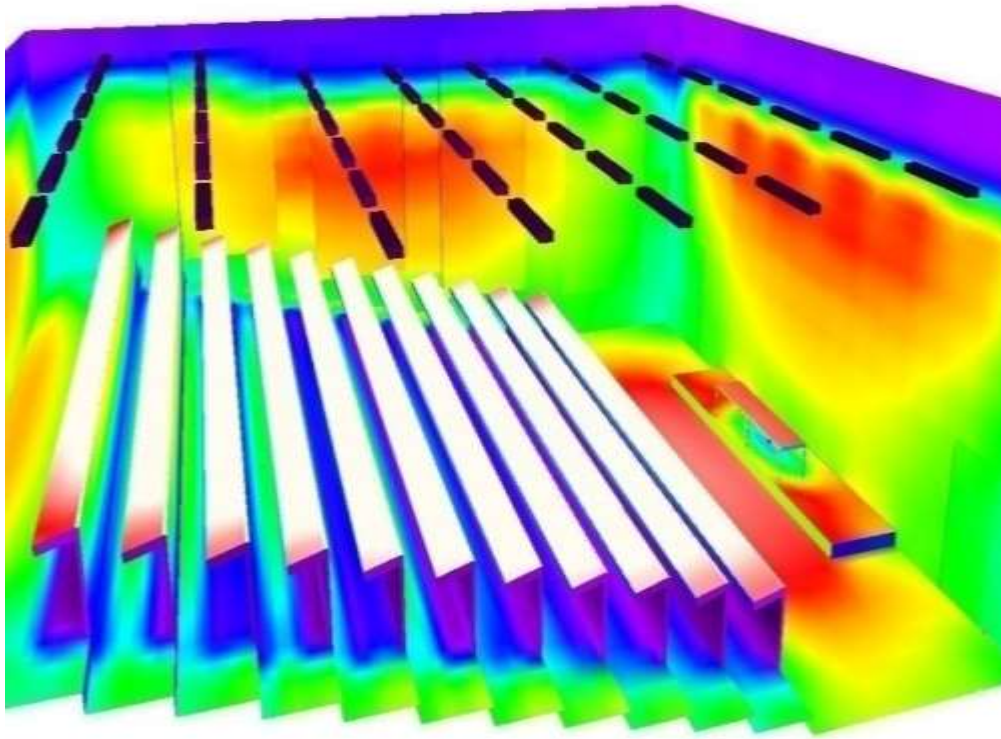


Рисунок 4.8 – Розподіл освітленості в лекційній аудиторії №1 після модернізації

Таблиця 4.6 - Освітленість основних елементів

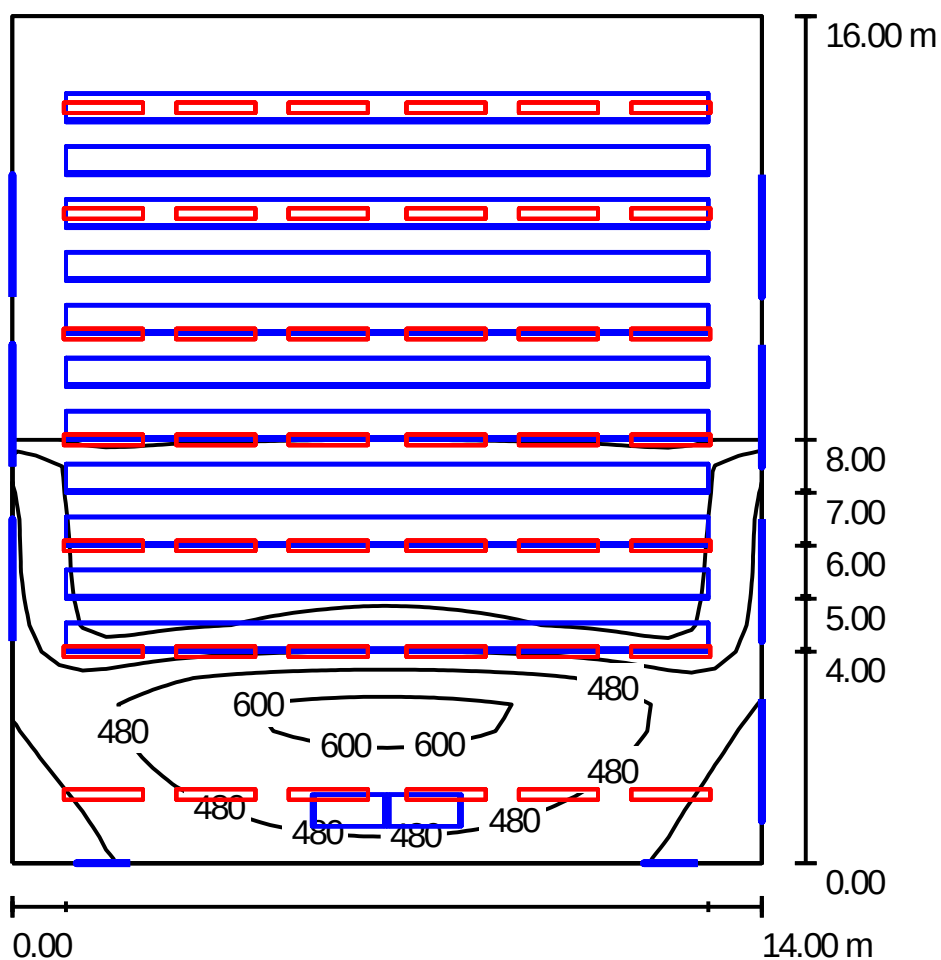
Поверхня	ρ [%]	$E_{\text{ср}}$ [лк]	E_{min} [лк]	E_{max} [лк]	$E_{\text{min}}/E_{\text{ср}}$
Робоча площина	/	410	72	685	0,207
Підлоги	32	223	34	531	/
Стеля	66	111	73	141	0,659
Стінки	29	262	66	454	/

Таблиця 4.7 – Відомість встановлених світильників

№	Шт.	Позначення (Поправочний коефіцієнт)	Φ [Лм]	Р [Вт]
1	42	LIGHT INGTECHNOLOGIES - LNB+RZ 235 (1.000)	6600	70,0
Всього:			277200	2940,0

Результати модернізації системи освітлення в лекційній аудиторії №1:

- Середня освітленість $E_{\text{ср}} = 418$ лк відповідає нормативним показникам.
- Запропоновані світильники мають вищий ККД.
- Енергоспоживання в системі освітлення зменшено у 2,5 рази.
- Термін служби ламп Т5 становить 20000 годин, а ламп СДЛ 50000 год, що значно перевищує термін служби існуючих люмінесцентних ламп.



Малюнок 4.9 – Розподіл ізоліній після модернізації в лекційній аудиторії №1

В результаті дослідження системи освітлення було встановлено, що до складу приміщень навчально-лабораторного корпусу №1 відносяться 3 лекційні аудиторії, для яких реконструкція системи освітлення дозволить зекономити 20385 кВт·год.

Висновки до розділу 4

Комп'ютерне моделювання в фрагментів системи освітлення дозволило визначити потенційну економію електричної енергії за рахунок встановлення люмінесцентних ламп типу T5 або світлодіодних ламп.

В результаті моделювання встановлено, що використання сучасних світильників зі зміненою формою кривої світла дозволяє зменшити їх кількість за рахунок зміни їх положення відносно довжини коридорів

Впровадження світлодіодних ламп знижує споживання електричної енергії на 102886 кВт·год, що дозволить зменшити витрати електроенергії на освітлення на 50%.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Аналіз якості світла в приміщеннях в навчально-лабораторному корпусі №1 показав, що переважна більшість, випрацювала свій ресурс і має занижкий ККД. Дволампові світильники з ЛЛ мають низьку енергетичну ефективність та є морально застарілими.

В приміщення та аудиторіях навчально-лабораторного корпусу №1 відсоток приміщень, з освітленістю нижче за нормовані показники становить 9%, в коридорах – 91 % .

В коридорах навчально-лабораторного корпусу №1 відсоток площ, з освітленістю нижче за нормовані показники становить 12%, в коридорах – 88 % .

Світильники з ЕПРА мають ряд переваг у порівнянні з стартерно-дроссельними варіантами включення, проте вартість ЕПРА знижує попит на їх широке впровадження.

Люмінесцентні лампи нового типу та світлодіодні лампи характеризуються практично рівноцінними енергетичними показниками. Термін служби світлодіодних ламп вдвіччі більший ніж у люмінесцентних ламп.

Річна економія електроенергії за рахунок впровадження ЛЛ типу Т5 або СДЛ в навчально лабораторному корпусі №1 становитиме 44215 кВт. Річне зниження споживання електроенергії при використанні СДЛ складе 64241 кВт з строком окупності заходу за два з половиною роки.

Комп'ютерне моделювання в фрагментів системи освітлення дозволило визначити потенційну економію електричної енергії за рахунок встановлення люмінесцентних ламп типу Т5 або світлодіодних ламп.

В результаті моделювання встановлено, що використання сучасних світильників зі зміненою формою кривої світла дозволяє зменшити їх кількість за рахунок зміни їх положення відносно довжини коридорів

Впровадження світлодіодних ламп знижує споживання електричної енергії на 102886 кВт·год, що дозволить зменшити витрати електроенергії на освітлення на 50%.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Сорокин В.М. Светодиодное освещение расширяет границы. /В.М. Сорокин // Світлолюкс. - 2009. - № 2 - С. 37-41.
2. Тараненко Е. Энергоэффективные осветительные приборы на светодиодных источниках света - необходимость и реальность сегодняшнего дня. / Е. Тараненко, В. Трофимец // Світлолюкс. - 2009. - № 2. - С. 48-45.
3. Лашик С.И. О светодиодных лампах прямой замены. / С.И. Лашик, А.А. Паутино, Ю.В. Трофимов // Светотехника. - 2010. - № 1. - С. 48-54.
4. Подопригора В.М. Эти странные LED лампы (заметки практика)./ В.М. Подопригора // Світлолюкс. - 2013. - № 3. - С. 29-31.
5. Козлов А. Способы обеспечения питания светодиодов. / А. Козлов // СНІР News Украина. - 2008. - № 3 (73). - С. 4-6.
6. Кириленко А.И. Экологические проблемы светотехники. / А.И. Кириленко // Энергия и менеджмент. - 2003. - № 2. - С. 8-13.
7. Фомин Н. Светодиоды - идеальный источник света? / Н. Фомин, С. Макареня, П. Рудковский // Современная светотехника. - 2010. - № 2. - С. 4-6.
8. Арексис Л. О пульсациях выпускаемых ламп. / Л. Арексис, С. Китси-нелис, Ж. Циссис // Светотехника.- 2012. - №3. - С. 58-63.
9. Липовецкий В. Вплив напруги живлення на параметри розрядних ламп високого тиску. / В. Липовецкий, М. Липовецкий, Р. Пилипчук // Світлолюкс - 2009. - № 5. - С. 63-67.
10. Рохлин Г.Н. Разрядные источники света. / Г.Н. Рохлин. - М.: Энергоатомизат, 1991. - 720 с.
11. Wilkins A.J. Modulation from fluorescent lamps / A.J. Wilkins, C. Clark // Lighting Research and Technology. - 1990 - Vol. 22 , No. 2.- P. 103-109.

12. Wilkins A.J. A tint to reduce eye-strain from fluorescent lighting, Preliminary observations. / A.J. Wilkins, P Wilkinson // Ophthalmic and Physiological Optics. - 1991 - No. 11. - P. 172-175.
13. <http://ekosf.ru/poleznoe-alias/articles/525-pulsacii>
14. Ильянок В. А. Влияние пульсирующих источников света на электрическую активность мозга человека. / В. А. Ильянок, В.Г. Самсонова // Светотехника. - 1963. - № 5. - С. 16-20.
15. Леонидов А.В. Выбор частоты проблесков светового маяка. /А.В. Леонидов. // Электротехническая промышленность. Сер. Светотехнические изделия. - 1982. вып. 6 [78]. - С. 6-7.
16. Масекане К.С. Зрительная работоспособность при питании ламп током повышенной частоты. / К.С. Масекане // Светотехника. - 1967. - № 10. - С. 8-12.
17. Масекане К.С. Исследование работоспособности в условиях промышленной осветительной установки на повышенной частоте К.С. Масекане // Светотехника. - 1968. - №8. - С. 9-11.
18. Державні будівельні норми України. Інженерне обладнання будинків і споруд. Природне і штучне освітлення. ДБН В.2.5-28-2018. Київ. - 2018. - Міністерство будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства України. - 137 с.
19. Фугенфиров М.И. Электрические схемы с газоразрядными лампами. / М.И. Фугенфиров. - М.: Энергия , 1974. - 368 с.
20. Тарасенко М.Г. Дослідження характеристик люмінесцентних ламп у схемах з електронними пускорегулювальними апаратами з ініціювальним генератором. / М.Г. Тарасенко // Електроінформ. - 2009. - № 3. - С. 15-18.
21. Кузьмин В.Н. Измерения пульсаций источников излучения. / В.Н. Кузьмин, К.А. Томский, А.С. Троицкий // Светотехника - 2004. - № 1. -С. 32-33.

Додатки

Охорона праці

Захисне заземлення – навмисне електричне з'єднання із землею або її еквівалентом металевих нетоківідних частин, які можуть опинитися під напругою внаслідок замикання на корпус та з інших причин (індуктивний вплив сусідніх струмопровідних частин, винесення потенціалу, розряд блискавки тощо).

Призначення захисного заземлення – усунення небезпеки ураження струмом у разі дотику до корпусу електроустановки та інших неструминних металевих частин, що опинилися під напругою внаслідок замикання на корпус та з інших причин.

Захисне заземлення слід відрізнити від інших видів заземлення, наприклад, робочого заземлення та заземлення блискавкозахисту.

Робоче заземлення – навмисне з'єднання із землею окремих точок електричного ланцюга, наприклад нейтральних точок обмоток генераторів, силових і вимірювальних трансформаторів, дугогасних апаратів, реакторів поперечної компенсації в дальніх лініях електропередачі, а також фази при використанні землі фазного або зворотного проводу. Робоче заземлення призначене для забезпечення належної роботи електроустановки в нормальних або аварійних умовах і здійснюється безпосередньо (тобто шляхом з'єднання провідником частин, що заземлюються, із заземлювачем) або через спеціальні апарати – пробивні запобіжники, розрядники, резистори тощо.

Заземлення блискавкозахисту - навмисне з'єднання із землею блискавкоприймачів і розрядників з метою відведення від них струмів блискавки в землю.

Принцип дії захисного заземлення – зниження до безпечних значень напруги дотику та кроку, зумовлених замиканням на корпус та іншими

причинами. Це досягається шляхом зменшення потенціалу заземленого обладнання (зменшенням опору заземлювача), а також шляхом вирівнювання потенціалів основи, на якій стоїть людина, та заземленого обладнання (підйомом потенціалу основи, на якому стоїть людина, до значення, близького до значення потенціалу заземленого обладнання).

Розглянемо два випадки. Корпус електроустановки не заземлений. У цьому випадку дотик до корпусу електроустановки також небезпечний, як і до фазового проводу мережі.

Корпус електроустановки заземлений. У цьому випадку напруга корпусу електроустановки щодо землі зменшиться і стане рівною:

$$U_z = I_z R_z$$

Напруга дотику та струм через тіло людини в цьому випадку будуть визначатися за формулами:

$$U_h = I_z R_z \alpha_1;$$

$$I_h = I_z \frac{R_z}{R_h} \alpha_1;$$

де α_1 - Коефіцієнт напруга дотику.

Зменшуючи значення опору заземлювача розтіканню струму R_z , можна зменшити напругу корпусу електроустановки щодо землі, внаслідок чого зменшуються напруга дотику та струм через тіло людини.

Заземлення буде ефективним лише тому випадку, якщо струм замикання землю I_z практично не збільшується зі зменшенням опору заземлювача. Така умова виконується в мережах із ізольованою нейтраллю (типу IT) напругою до 1 кВ, тому що в них струм замикання на землю в основному визначається опором ізоляції проводів щодо землі, який значно більший за опір заземлювача.

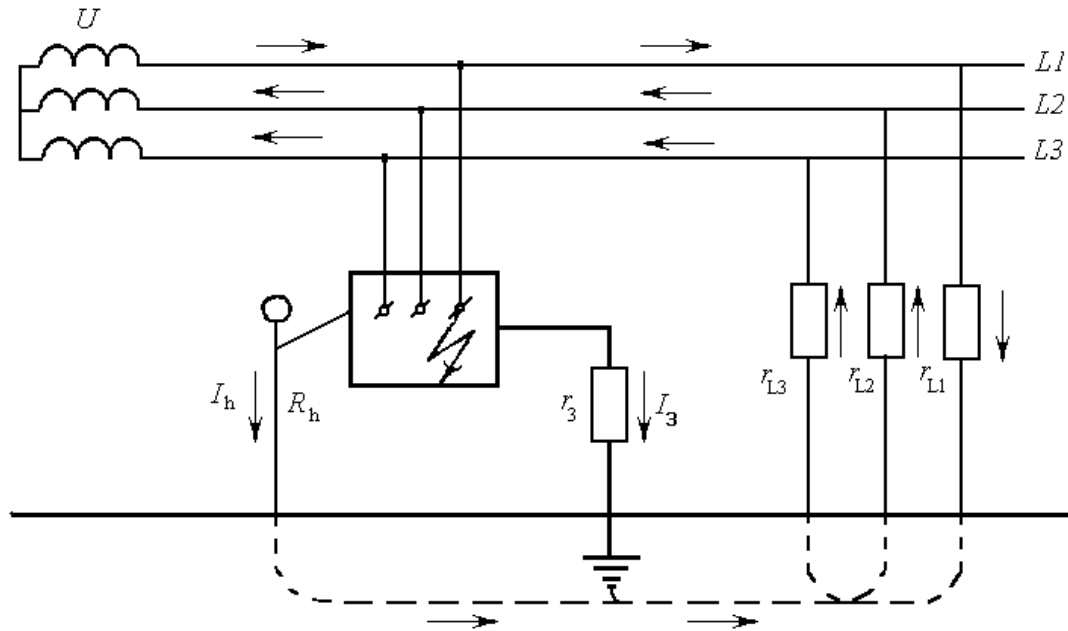


Рисунок А.1 – Схема мережі із ізольованою нейтраллю (типу IT) та захисним заземленням електроустановки

У мережах змінного струму із заземленою нейтраллю напругою до 1 кВ захисне заземлення як основний захист від ураження електричним струмом при непрямому дотику не застосовується, т.к. воно неефективне.

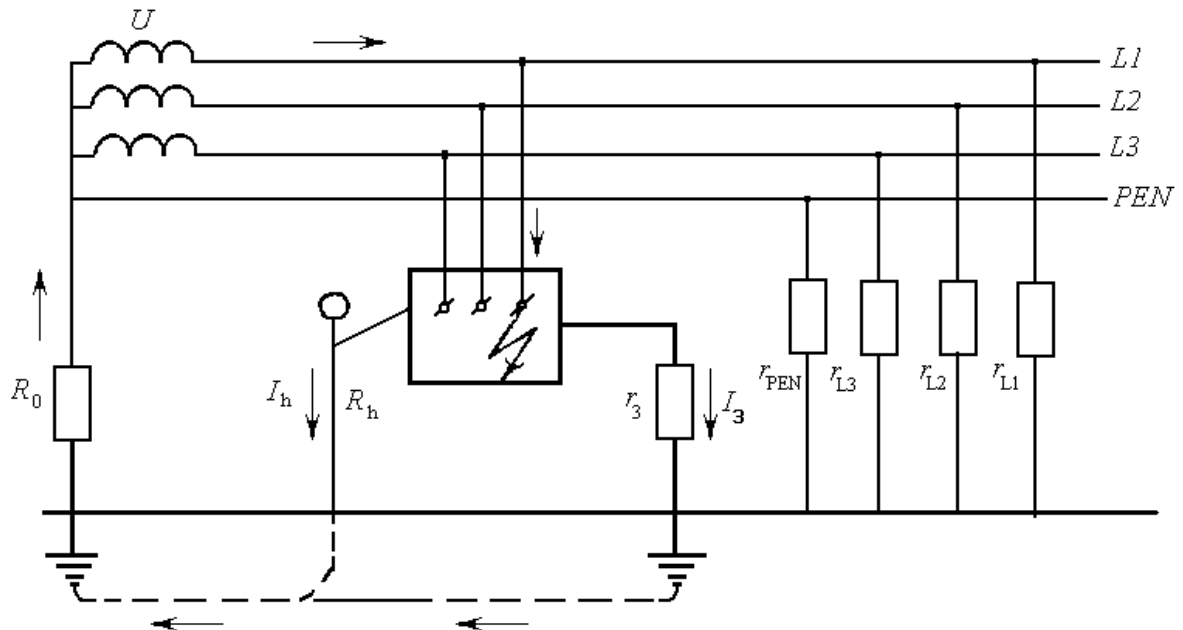


Рисунок А.2 – Схема мережі із заземленою нейтраллю та захисним заземленням приймача електроенергії

Область застосування захисного заземлення:

- електроустановки напругою до 1 кВ трифазних трипровідних мережах змінного струму з ізольованою нейтраллю (система IT);
- електроустановки напругою до 1 кВ однофазних двопровідних мережах змінного струму ізольованих від землі;
- електроустановки напругою до 1 кВ у двопровідних мережах постійного струму із ізольованою середньою точкою обмоток джерела струму (система IT);
- електроустановки у мережах напругою вище 1 кВ змінного та постійного струму з будь-яким режимом нейтралі або середньої точки обмоток джерел струму.

Розрахунок економічного і енергетичного ефекту заходів з забезпечення ефективності енергоспоживання

При розробці енергозберігаючих заходів слід ґрунтуватися на їх реалістичності і досяжності. Основою для оцінки прийнятності тих чи інших заходів є техніко-економічні розрахунки, що базуються на обліку поточного або перспективного рівня цін на енергоресурси. У зв'язку з цим можна виділено певну градацію енергозберігаючих заходів по їх доступності що можуть бути використанні або іншими господарюючими суб'єктами.

Організаційні та роз'яснювальні заходи є невід'ємним етапом для подальшої підготовки більш складних технічних і технологічних заходів, оскільки тільки після проведення аналізу можна оцінити реальний рівень енергоспоживання, неспотворений впливом недостатньо компетентного управління. До низьковитратних заходів відноситься ряд технічних прийомів, що дозволяють при мінімальних фінансових витратах отримати відчутні результати в зниженні енергоспоживання. Ряд середньо витратних заходів може виявитися неприйнятним через великі термінів окупності або через складнощі з подальшою експлуатацією. Найчастіше ключовим фактором при вирішенні про реалізацію високозатратних заходів є отримання екологічних чи інших переваг, наприклад скорочення споживання теплоенергетичних ресурсів до мінімуму і зниження викидів парникових газів, енергонезалежність і т.д.

В ході обстеження в були встановлені втрати теплової енергії. Розглянемо можливі заходи енергозбереження з точки зору їх окупності (табл. Б.1).

Таблиця Б.1

Заходи запропоновані при проведенні енергоаудиту та терміни їх окупності

Основні енергозберігаючі заходи	Можливість зниження втрат, %	Окупність, років
Автоматичне регулювання витрати тепла в опалювальних системах	11,2	1
Утеплення вікон	3,8	1,5
Ручні регулятори витрати тепла	3,8	1,5
Заміна освітлення	7,5	2,1
Заміна вікон	11,2	5
Внутрішня теплоізоляція стін	15,0	12
Теплоізоляція даху	7,5	14
Зовнішня теплоізоляція стін	11,2	19
Теплоізоляція підлоги	3,8	25

Отже, виконання всіх запропонованих заходів дасть економію енергетичних витрат в 75%, але керівництву ЦНТУ. В першу чергу при формуванні довгострокової стратегії слід звернути на заходи з високою енергозберігаючою здатністю, а при формуванні короткострокової стратегії слід звернути на заходи з вищим терміном окупності.

Як один з етапів цифровізації в у 2022 році було замінено комп'ютерні монітори. Проведемо розрахунок енергетичного ефекту від даного заходу (табл. Б.2

Таблиця Б.2

Розрахунок енергетичного ефекту від заміни комп'ютерних ЕЛТ моніторів на сучасні з LED підсвічуванням

Параметри	Монітори с ЕЛТ	Монітори з LED підсвічуванням
Кількість моніторів	4	4

Споживана потужність монітора, Вт/год.	80	18
Тривалість роботи моніторів в рік. годин	2644	2644
Витрачено електроенергії за рік на один монітор, Вт/рік	211,5	47,6
Витрачено електроенергії за рік на всі монітори, Вт/рік	846,1	190,4
Економія електроенергії в рік, кВт/год.	-	655,7
Економія коштів за рік (ціна за Вт – 1,8117 грн), грн	-	1188

Джерело: власне дослідження

Розрахунки показали, що заміна моніторів крім поліпшення виконуваної роботи дала змогу зекономити 655 кВт електроенергії чи зменшити видатки на 1188 грн.

Керівництво ЖОДЮСШОІ цікавив розрахунок економічного ефекту від зміни системи освітлення, тому проведено такий розрахунок (табл. Б.3)

Таблиця Б.3

Розрахунок економічної ефективності впровадження світлодіодних ламп

Параметри	Люмінесцентна лампа ТВ, цоколь G13, 60 см	Світлодіодна лампа ТВ, цоколь G13, 60 см, 7W
Кількість ламп	32	32
Термін служби лампи, годин	3000	50 000
Споживана потужність лампи, Вт	23,53	7,78
Встановлена потужність лампи, Вт	20	7
Кількість годин роботи ламп в рік	1387	1387
Коефіцієнт потужності	0,85	0,9
Споживання однієї лампи в рік, кВт / год.	32,6	10,8
Споживання всіх ламп в рік, кВт / год.	1044	345
Економія електроенергії в рік, кВт/год.	-	699
Ціна кВт / год, грн.	1,8117	1,8117
Економія коштів за рік, грн	-	1266,4
Ціна утилізація лампи, грн	6	-
Витрата на утилізацію 32 старих ламп в рік, грн.	192	-
Витрата на заміну 1 лампи, грн.	-	77
Витрати на заміну 32 ламп, грн	-	2464
Всього витрат при переході на світлодіодні лампи, грн	2656	
Термін окупності, років	2,1	

Окупність переходу ЦНТУ на світлодіодні лампи складе 2,1 року. Економія коштів в рік складе (при використанні світлодіодних ламп) 1266,4 грн, також можлива додаткова економія від зростання терміну служби ламп.

Розрахунок економічної ефективності заміни ламп розжарювання на енергозберігаючі лампи

Виконаємо розрахунок економічної ефективності заміни ламп розжарювання на енергозберігаючі лампи для одного із службових приміщень корпусу.

На рис. В.1. План Службового приміщення із зазначенням джерел світла.

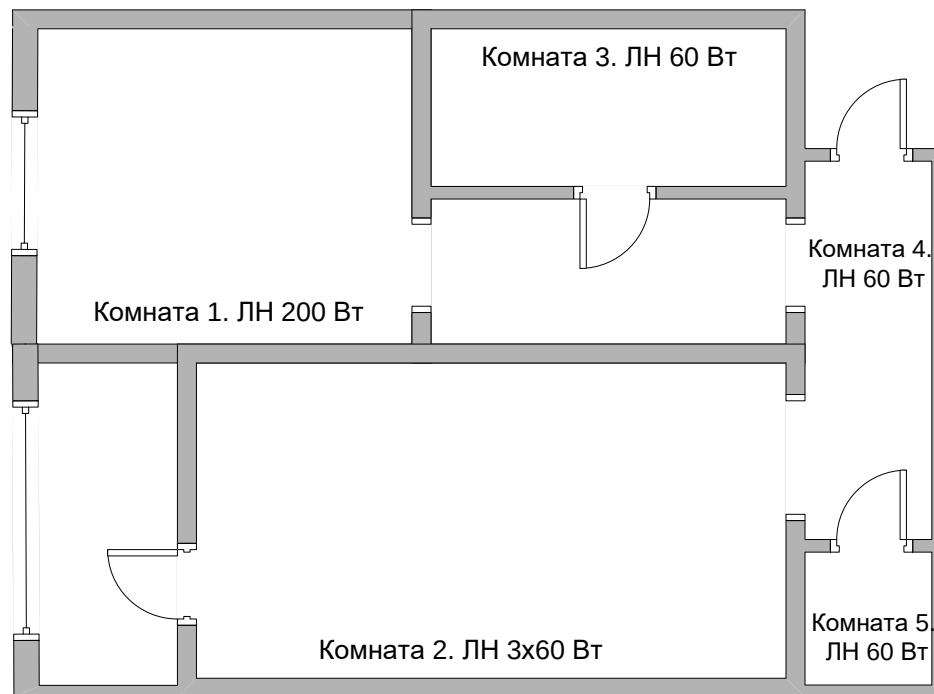


Рисунок В.1 – План квартири із зазначенням джерел світла

1. Порівняльні характеристики джерел світла наведені в таблиці В.1.

Таблиця В.1 - Характеристики джерел світла

	Рном, Вт	τ , <i>часов</i>	Вартість, руб.
ЛН	200	1000	20
	60	1000	12
КЛЛ	42	8000	200
	13	8000	90

3. Розрахунок річного споживання електроенергії джерелами світла.

$$W_{ЛН} = 213 \cdot \sum T_{\text{зоп}_{i1}} \cdot P_i \cdot N + 152 \cdot \sum T_{\text{зоп}_{i2}} \cdot P_i \cdot N,$$

$$W_{КЛЛ} = 213 \cdot 1,05 \cdot \sum T_{\text{зоп}_{i1}} \cdot P_i \cdot N + 152 \cdot 1,05 \cdot \sum T_{\text{зоп}_{i2}} \cdot P_i \cdot N,$$

Де $T_{\text{зоп}_{i1}}, T_{\text{зоп}_{i2}}$ – час роботи світильника і-ої кімнати взимку та влітку відповідно;

P_i – номінальна потужність джерела світла і-ої кімнати;

N – кількість ламп у світильнику.

$$W_{ЛН} = 213 \cdot (3 \cdot 200 + 4 \cdot 60 \cdot 3 + 3 \cdot 60 + 0,5 \cdot 2 \cdot 60 + 0,5 \cdot 60) + \\ + 152 \cdot (1,5 \cdot 200 + 3 \cdot 60 \cdot 3 + 3 \cdot 60 + 0,5 \cdot 2 \cdot 60 + 0,5 \cdot 60) = 507,39 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

$$W_{КЛЛ} = 213 \cdot 1,05 \cdot (3 \cdot 42 + 4 \cdot 13 \cdot 3 + 3 \cdot 13 + 0,5 \cdot 2 \cdot 13 + 0,5 \cdot 13) + \\ + 152 \cdot 1,05 \cdot (1,5 \cdot 42 + 3 \cdot 13 \cdot 3 + 3 \cdot 13 + 0,5 \cdot 2 \cdot 13 + 0,5 \cdot 13) = \\ = 114,22 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

4. Витрати купівлю джерел світла протягом п'яти років

$$K = \frac{5T_{\text{зоп,зод}}}{\tau}.$$

ЛН:

$$K_1 = \frac{5 \cdot 867}{1000} = 4,3 \approx 4;$$

$$K_2 = \frac{5 \cdot 1308}{1000} = 6,54 \approx 7;$$

$$K_3 = \frac{5 \cdot 1095}{1000} = 5,48 \approx 6;$$

$$K_4 = K_5 = \frac{5 \cdot 182,5}{1000} 0,9 \approx 1.$$

КЛЛ:

$$K_1 = \frac{5 \cdot 867}{8000} = 1,08 \approx 1;$$

$$K_2 = \frac{5 \cdot 1308}{8000} = 0,82 \approx 1;$$

$$K_3 = \frac{5 \cdot 1095}{8000} = 0,68 \approx 1;$$

$$K_4 = K_5 = \frac{5 \cdot 182,5}{8000} = 0,11 \approx 0.$$

Капітальні витрати на лампи:

$$\Pi_{ЛН} = \sum K_i \cdot C_i \cdot N,$$

$$\Pi_{КЛЛ} = \sum K_i \cdot C_i \cdot N,$$

де $\Pi_{ЛН}$ - Витрати на купівлю ламп розжарювання протягом п'яти років;

$\Pi_{КЛЛ}$ - Витрати на купівлю компактних люмінесцентних ламп протягом п'яти років;

K_i - кількість ламп, що перегоріли, i -ої кімнати за п'ять років;

C_i - Вартість джерела світла i -ої кімнати;

N - Кількість джерел світла.

Капітальні витрати на лампи, грн:

$$\Pi_{ЛН} = \sum K_i \cdot C_i \cdot N = 4 \cdot 20 \cdot 1 + 7 \cdot 12 \cdot 3 + 6 \cdot 12 \cdot 1 + \\ + 1 \cdot 12 \cdot 1 + 1 \cdot 12 \cdot 1 = 428.$$

$$\Pi_{КЛЛ} = \sum K_i \cdot C_i \cdot N = 1 \cdot 200 \cdot 1 + 1 \cdot 90 \cdot 3 + 1 \cdot 90 \cdot 1 + \\ + 0 \cdot 90 \cdot 1 + 0 \cdot 90 \cdot 1 = 560 \text{ руб.}$$

5. Визначення витрат на використання джерел світла, грн.

$$З_{ЛН} = \sum \Pi_{ЛН} \cdot W_{ЛН} \cdot C_m = 428 + 507,39 \cdot 5 \cdot 2 = 5502 \text{ руб.}$$

$$З_{КЛЛ} = \sum \Pi_{КЛЛ} \cdot W_{КЛЛ} \cdot C_m = 560 + 114,22 \cdot 5 \cdot 2 = 1702,2 \text{ руб.}$$

6. Економічна ефективність заміни ЛН енергозберігаючими лампами.

Економія за 5 років складе, грн:

$$\mathcal{E}_{5\text{лет}} = З_{ЛН} - З_{КЛЛ};$$

$$\mathcal{E}_{5\text{лет}} = 5502 - 1702,2 = 3799,8.$$

Економія на рік становитиме, грн:

$$\mathcal{E}_{\text{год}} = \frac{\mathcal{E}_{\text{5.лет}}}{5} = \frac{3799,8}{5} = 759,96$$

Методика розрахунку економії електроенергії в діючих освітлювальних установках приміщень під час проведення енергетичного аудиту

Останнім часом, через зростання цін на енергоносії, актуальною стає їх економія. Першим етапом процесу економії енергії є проведення комплексного енергетичного обстеження об'єкта (енергоаудит) та розробка на його основі економічно доцільних заходів щодо економії енергії. Ці заходи розробляються для кожного окремого типу споживача енергії: опалення, технологія, освітлення, вентиляція тощо. Спочатку проводиться аналіз стану систем енергоспоживання, а потім розрахунок економії енергії за певними методиками.

Система освітлення є вагомим споживачем електроенергії, особливо у адміністративних будинках (до 80%). Тому застосування запропонованої методики набуває великого значення при енергоаудиті.

Для аналізу стану системи освітлення об'єкта, що обстежується, необхідно зібрати наступну інформацію:

- тип та кількість існуючих світильників;
- тип, кількість і потужність ламп, що використовуються;
- Режим роботи системи штучного освітлення;
- характеристики поверхонь приміщень (коефіцієнти відбиття);
- рік встановлення світильників;
- періодичність чищення світильників;
- фактичний та нормований рівень освітленості;
- значення напруги електромережі освітлення на початку та в кінці вимірювань освітленості;
- Розміри приміщення;
- Середній фактичний термін служби ламп;

- фактичне та нормоване значення коефіцієнта природного освітлення.

Потім проводиться розрахунок показників енергоспоживання на підставі вище перелічених даних, отриманих в результаті інструментального обстеження об'єкта.

Встановлена потужність:

$$P_i = P_{\text{л}} K_{\text{ПРА}} N,$$

де P_i - потужність освітлювальної установки i -го приміщення в об'єкті, що обстежується;

$P_{\text{л}}$ - Потужність лампи;

$K_{\text{пра}}$ - Коефіцієнт втрат у пускорегулюючій апаратурі освітлювальних приладів;

N – кількість однотипних ламп у освітлювальній установці i -го приміщення.

Річне та питоме енергоспоживання:

$$W_{\Gamma} = \sum_{i=1}^n W_{\Gamma_i} = \sum_{i=1}^n P_i \cdot T_{\Gamma_i} \cdot k_{\text{И}_i},$$

де W_{Γ} – сумарне річне споживання електроенергії, кВт·год;

W_{Γ_i} – річне споживання ОУ i -го приміщення;

T_{Γ_i} – річне число годин роботи системи i -го приміщення;

$k_{\text{И}_i}$ - Коефіцієнт використання встановленої електричної потужності в ОУ i -го приміщення ($k_{\text{И}} = 1$).

$$W_{\Gamma_{\text{уд}}} = \frac{W_{\Gamma}}{\sum_{i=1}^n S_i},$$

де $W_{Гуд}$ – річне питоме споживання електроенергії, кВт·год/м²;

S_i – площа i -го приміщення у досліджуваному об'єкті.

Питомі показники енергоспоживання чи встановленої потужності дозволяють з урахуванням норм приблизно ($\pm 20\%$) оцінити загальний потенціал економії енергії.

Для більш точної оцінки щодо кожного заходу необхідно виконати розрахунок економії електроенергії за наведеною нижче методикою.

Спочатку необхідно визначити фактичне середнє значення освітленості з урахуванням відхилення напруги в мережі від номінальної за формулою:

$$E_{\phi} = \frac{E'_{\phi} \cdot U_n}{U_n - k(U_n - U_{cp})},$$

де E'_{ϕ} – виміряна фактична освітленість, лк;

U_n – Номінальна напруга мережі, В;

k – коефіцієнт враховує зміни світлового потоку лампи при відхиленні напруги мережі живлення ($k=4$ для ламп розжарювання, $k=2$ для газорозрядних ламп);

U_{cp} – Середнє фактичне значення напруги $U_{cp} = (U_1 + U_2) / 2$,

U_1 та U_2 – значення напруги мережі на початку та наприкінці вимірювання.

Для врахування відхилення фактичної освітленості від нормативних значень визначаємо коефіцієнт наведення:

$$k_{ni} = E_{\phi i} / E_{ni},$$

де k_{ni} – Коефіцієнт приведення освітленості i -го приміщення;

$E_{\phi i}$ – нормоване значення освітленості в i -му приміщенні;

E_{ni} – фактичне значення освітленості у i -му приміщенні.

Потенціал річної економії електроенергії в ОУ обстежуваного приміщення розраховується за такою формулою:

$$\Delta W_{\Gamma} = \sum_{i=1}^n k_{n_i} \cdot \sum_{k=1}^f \Delta W_i^k,$$

де ΔW_i^k – потенціал економії електроенергії у кВт·год/рік для i -го приміщення та k -го заходу.

До основних заходів належать:

1. Перехід на інший тип джерела світла з вищою світловіддачею (лм/Вт).

Економія електроенергії внаслідок цього заходу визначається за формулою:

$$\Delta W_i = W_{\Gamma i} (1 - k_{i1} k_{zpi}), \quad (A.7)$$

де k_{i1} - Коефіцієнт ефективності заміни типу джерела світла;

k_{zpi} – коефіцієнт запасу, що враховує зниження світлового потоку лампи протягом терміну служби (при заміні ламп з близьким за значенням k_{zp} але з різною ефективністю k_{zp} виключається або коригується, крім випадку, коли обстеження проводилося після групової заміни джерел світла).

$$k_{i1} = h / h_N$$

де h - Світловіддача існуючого джерела світла, лм / Вт;

h_N - світловіддача пропонованого до встановлення джерела світла, лм/Вт.

2. Підвищення ККД існуючих освітлювальних приладів внаслідок їхнього чищення. Економія електроенергії внаслідок цього заходу визначається за формулою:

$$\Delta W_i = W T_i k_{\text{чи}},$$

де $k_{\text{чи}}$ – коефіцієнт ефективності чищення світильників.

$$k_{\text{чи}} = 1 - (g_c + b_c e^{-(t/t_c)}),$$

де g_c , b_c , t_c - постійні для заданих умов експлуатації світильників;

t – тривалість експлуатації світильників між двома найближчими чистками.

3. Підвищення ефективності використання відбитого світла. Збільшення коефіцієнтів відбиття поверхонь приміщень на 20% і більше (фарбування в світліші тони, побілка, миття) дозволяє заощаджувати 5-15% електроенергії. Ефективність цього заходу залежить від великої кількості факторів: розміри приміщення, коефіцієнти відображення поверхонь приміщення, розташування світлопройомів, коефіцієнт природного освітлення (КЕО), режим роботи людей у приміщенні, світлорозподіл і розташування світильників. Тому більш точне значення економії електроенергії можна отримати виходячи з світлотехнічного розрахунку методом коефіцієнта використання [13].

4. Підвищення ефективності використання електроенергії під час автоматизації керування освітленням.

Ефективність цього заходу є багатофакторною, методика розрахунку економії електроенергії, представлена в [7], складна для використання при енергообстеженні, але може бути рекомендована при необхідності точної оцінки. На підставі досвіду впровадження систем автоматизації, економію від цього заходу можна визначити за такою формулою:

$$\Delta W_i = W_{Ti} (k_{eai} - 1),$$

де k_{eai} - Коефіцієнт ефективності автоматизації управління освітленням, який залежить від рівня складності системи управління.

5. Встановлення енергоефективної пускорегулюючої апаратури.

$$\Delta W_i = W_{Ti} (1 - K_{NPRAi} / K_{PRAi}),$$

де K_{PRAi} – коефіцієнт втрат у ПРА існуючих світильників системи освітлення і-го приміщення;

K_{NPRAi} - коефіцієнт втрат у встановлюваних ПРА.

6. Заміна світильників є найбільш ефективним комплексним заходом, оскільки включає заміну ламп, підвищення ККД світильника, оптимізацію світлорозподілу світильника і його розташування.

За розрахунковим значенням встановленої потужності (зі світлотехнічного розрахунку) економія електроенергії визначається за формулою:

$$\Delta W_i = W_{Ti} - P_{iN} T_{Ti},$$

де P_{iN} - встановлена потужність після заміни світильників;

T_{Ti} - річне число годин роботи системи штучного освітлення і-го приміщення.

При спрощеній оцінці (при заміні світильників на аналогічні за світлорозподілом та розташуванням) розрахунок проводиться за такою формулою:

$$\Delta W_i = W_{Ti} (1 - k_{ici} k_{zpi} k_{chi} k_{svi} K_{NPRAi} / K_{PRAi}),$$

де k_{svi} – коефіцієнт, що враховує підвищення ККД світильника, кВт·год/рік.

$$k_{свi} = q_i / q_i^N ,$$

де q_i – паспортний ККД існуючих світильників;

q_i^N - паспортний ККД передбачуваних до встановлення світильників.

Розрахунок економії електроенергії при заміні світильників враховує заходи № 1, 2, 5, тому їх слід виключати при розрахунку загальної економії електроенергії в i -му приміщенні.

У разі великої кількості однотипних приміщень в обстежуваній будівлі зі схожими за параметрами, станом та заходами ОУ розрахунок проводиться за допомогою питомих показників економії електроенергії.

$$\Delta W_{удj} = DW_{ij} / S_{ij},$$

де $\Delta W_{удj}$ – питома економія електроенергії для j типу приміщення;

DW_{ij} – розрахункова економія електроенергії для i -го приміщення;

S_{ij} - Площа i -го приміщення.

Загальна економія електроенергії в системах освітлення становитиме:

$$\Delta W_{\Gamma} = \sum_{j=1}^N \Delta W_{удj} \cdot S_j ,$$

де S_j – загальна площа приміщень j типу;

N - Кількість типів приміщень.