

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(освітній ступінь (освітньо-кваліфікаційний рівень))

на тему: **Розробка енергоощадної системи освітлення**
загальноосвітньої школи

Виконав: студент 4 курсу, групи ЕТс-41
спеціальності 141

електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(шифр і назва спеціальності)

Гринчук І. І.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник Мовчан Л. Т.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль Мовчан Л. Т.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри Коваль В. П.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Рецензент Золотий Р. З.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)

Кафедра Електричної інженерії
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Коваль В. П.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

« 02 » січня 2026 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня бакалавр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 141 – електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(шифр і назва спеціальності)

студенту Гринчуку Івану Івановичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка енергоощадної системи освітлення загальноосвітньої школи

Керівник роботи Мовчан Леонід Тимофійович, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 31 » грудня 2025 року № 4/7-1164

2. Термін подання студентом завершеної роботи 20 червня 2026 року

3. Вихідні дані до роботи Поверховий план, відомості про енергоспоживання, дані про електроприймачі та освітлювальні прилади, схема технологічного приєднання до розподільчої мережі

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)
Вступ

1. Аналітичний розділ

2. Розрахунковий розділ

3. Проектно-конструкторський розділ

4. Безпека життєдіяльності, основи охорони праці

Загальні висновки

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

Актуальність роботи / Метою роботи / Практична значущість досліджень.

Аналіз існуючої системи освітлення. Переваги LED-технологій (Якість освітлення / Економіка та безпека). Річні споживання електроенергії за 2022-2025. Частки споживання електроенергії за 2022-2025. Аварійне та евакуаційне освітлення. Електротехнічний розрахунок мереж. Аналіз споживання освітлювальної мережі. Техніко-економічне обґрунтування. Висновки

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Безпека життєдіяльності, основи охорони праці	К.т.н., доцент Гурик О. Я.		

7. Дата видачі завдання 02 січня 2026 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	15.01.2026	
2	Аналітичний розділ	15.02.2026	
3	Розрахунковий розділ	01.04.2026	
4	Проектно-конструкторський розділ	15.05.2026	
5	Безпека життєдіяльності та основи охорони праці	01.06.2026	
6	Висновки	10.06.2026	
7	Оформлення пояснювальної записки	15.06.2026	
8	Оформлення графічної частини	15.06.2026	

Студент

_____ (підпис)

Гринчук І. І.

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Мовчан Л. Т.

_____ (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Гринчук Іван Іванович – Розробка енергоощадної системи освітлення загальноосвітньої школи.

Стор. – 64; рис. - 13; табл. - 7; джерел - 20; додатків - - .

Об'єктом дослідження є система освітлення загальноосвітнього навчального закладу.

Метою роботи є розробка енергоощадної системи освітлення загальноосвітньої школи на основі сучасних технічних рішень.

У процесі виконання роботи проведено аналіз існуючої системи освітлення, визначено її недоліки з точки зору енергоефективності та відповідності нормативним вимогам. Виконано світлотехнічний розрахунок приміщень навчального закладу, обґрунтовано вибір світлодіодних джерел світла та визначено їх необхідну кількість.

Запропоновано комплекс заходів з модернізації системи освітлення, що включає заміну застарілих джерел світла на LED-світильники, а також впровадження автоматизованих систем керування освітленням із використанням датчиків присутності. Розглянуто питання забезпечення аварійного освітлення та підвищення рівня електробезпеки.

Виконано оцінку ефективності запропонованих рішень, яка підтверджує доцільність їх впровадження за рахунок зменшення споживання електроенергії та зниження експлуатаційних витрат.

Результати роботи можуть бути використані при модернізації систем освітлення навчальних закладів та інших об'єктів бюджетної сфери.

Перелік ключових слів: ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ, ОСВІТЛЕННЯ, СВІТЛОДІОДНІ СВІТИЛЬНИКИ, ДАТЧИКИ ПРИСУТНОСТІ, АВАРІЙНЕ ОСВІТЛЕННЯ, СВІЛОТЕХНІЧНИЙ РОЗРАХУНОК.

ЗМІСТ

ВСТУП	<u>5</u>
1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ	<u>8</u>
1.1 Теоретичні основи організації освітлення в навчальних закладах	<u>8</u>
1.2 Аналіз впливу якості освітлення на зорову працездатність	<u>9</u>
1.3 Аналіз сукупної вартості	<u>10</u>
1.4 Особливості застосування LED-освітлення в навчальних закладах	<u>12</u>
1.5 Висновки до розділу 1	<u>13</u>
2 РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ	<u>14</u>
2.1 Характеристика освітлювальної та силової мережі	<u>14</u>
2.2 Аналіз споживання електроенергії	<u>16</u>
2.3 Розрахунок енергоспоживання освітлювальної мережі	<u>19</u>
2.4 Розрахунок освітлювальної мережі	<u>22</u>
2.4.1 Основне освітлення	<u>22</u>
2.4.2 Аварійне освітлення	<u>34</u>
2.5 Висновки до розділу 2	<u>40</u>
3 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	<u>42</u>
3.1 Розрахунок мережі живлення	<u>42</u>
3.2 Електротехнічний розрахунок освітлення	<u>46</u>
3.3 Розробка заходів енергозбереження в умовах України	<u>50</u>
3.4 Аналіз споживання освітлювальної мережі	<u>53</u>
3.5 Висновки до розділу 3	<u>55</u>
4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	<u>56</u>
4.1 Аналіз небезпечних і шкідливих факторів при експлуатації енергоощадної системи освітлення в загальноосвітній школі	<u>56</u>
4.2 Заходи з забезпечення електробезпеки та охорони праці при впровадженні енергоощадної системи освітлення	<u>58</u>
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	<u>61</u>
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	<u>62</u>

ВСТУП

Система освітлення в закладах загальної середньої освіти відіграє критичну роль не лише у забезпеченні належних умов для візуальної роботи учнів та викладачів, а й у формуванні загального психоемоційного стану, збереженні здоров'я та підвищенні концентрації уваги. Більшість типових шкільних будівель, зведених у 70-80-х роках минулого століття, проектувалися за застарілими стандартами, де базовим джерелом світла виступали енергозатратні лампи розжарювання або люмінесцентні світильники, що містять небезпечні сполуки ртуті. Сьогодні експлуатація таких систем є не лише економічно недоцільною, але й технічно небезпечною [1].

Перехід на сучасні світлодіодні (LED) технології, інтеграція систем автоматичного керування (датчиків руху та присутності) та впровадження надійних автономних систем евакуаційного освітлення є необхідним кроком для модернізації освітнього простору [2].

Актуальність теми

В умовах сьогодення для України питання енергоефективності та надійності електропостачання набуло безпрецедентного, екзистенційного значення. З огляду на систематичні пошкодження об'єктів критичної енергетичної інфраструктури внаслідок бойових дій, енергосистема України працює в умовах жорсткого дефіциту генеруючих потужностей. У цих реаліях кожен збережений кіловат-година електроенергії є внеском у загальну енергетичну стійкість держави.

Школи, як бюджетні установи з великими площами, є значними споживачами електроенергії. Використання застарілих ламп розжарювання чи старих люмінесцентних панелей призводить до колосальних фінансових втрат місцевих бюджетів через постійне зростання тарифів на електроенергію для непобутових споживачів.

Крім того, українські реалії диктують нові, суворі вимоги до безпеки. Наявність надійного аварійного та евакуаційного освітлення, оснащеного

блоками автономного живлення (БАП), є критично важливою вимогою для безпечної евакуації дітей до укриттів під час сигналів повітряної тривоги, особливо в умовах раптових (аварійних) відключень електроенергії (блекаутів). Таким чином, комплексна реконструкція освітлювальних мереж навчальних закладів із застосуванням LED-технологій та систем автоматизації відповідає як вимогам національних будівельних норм (ДБН В.2.5-28:2018), так і гострій необхідності економії ресурсів та захисту життя учасників освітнього процесу.

Мета роботи

Метою даної роботи є розробка комплексної, безпечної та енергоефективної системи освітлення загальноосвітньої школи шляхом реконструкції існуючої мережі, заміни застарілого обладнання на сучасні світлодіодні рішення та інтеграції елементів автоматизованого керування.

Задачі дослідження

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

Провести аудит та аналіз поточного споживання електроенергії об'єктом, виявити частку витрат, що припадає на освітлювальну мережу.

Виконати світлотехнічний розрахунок для робочого та аварійного (евакуаційного) освітлення навчальних класів, коридорів та допоміжних приміщень згідно з чинними санітарно-гігієнічними нормами.

Здійснити вибір сучасних LED-світильників, які мають оптимальну кольірну температуру, відсутність пульсації та високий індекс кольоропередачі (CRI).

Спроекувати надійну систему автономного аварійного освітлення з використанням блоків аварійного живлення (БАП).

Розробити схеми електричних мереж живлення, провести розрахунок перерізу кабельних ліній та обрати апаратуру захисту від струмів короткого замикання та перевантажень.

Запропонувати заходи з автоматизації (встановлення датчиків присутності) для максимального енергозбереження.

Виконати техніко-економічне обґрунтування проекту, розрахувавши

термін окупності інвестицій з урахуванням актуальних тарифів на електроенергію.

Практичне значення отриманих результатів

Практична значущість дослідження полягає в тому, що запропоновані інженерні та проектні рішення формують готовий алгоритм (шаблон) для модернізації електроосвітлювальних мереж типових будівель середніх шкіл. Реалізація запропонованого комплексу заходів дозволяє:

Скоротити споживання електроенергії на освітлення щонайменше на 30-50%, значно розвантаживши місцеву електромережу.

Створити цілком безпечне середовище для учнів завдяки безтіньовому освітленню без мерехтіння та надійній системі автономної підсвітки шляхів евакуації під час знеструмлень.

1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Теоретичні основи організації освітлення в навчальних закладах

Система штучного освітлення є однією з ключових складових інженерного забезпечення будівель, особливо в об'єктах освітнього призначення. Від якості організації освітлення безпосередньо залежить не лише комфорт перебування людей у приміщенні, але й їх працездатність, рівень втоми, здатність до концентрації уваги, а також загальний стан здоров'я. У навчальних закладах ці фактори набувають особливої ваги, оскільки саме в таких умовах відбувається тривалий зоровий процес, пов'язаний із читанням, письмом та роботою з навчальними матеріалами.

Згідно з сучасними підходами до організації освітлення, головним завданням освітлювальної системи є забезпечення нормативного рівня освітленості робочих поверхонь. Освітленість вимірюється в люксах і характеризує кількість світлового потоку, що падає на одиницю площі. Для навчальних приміщень рекомендовані значення освітленості становлять не менше 300 лк, що забезпечує достатню видимість об'єктів без перенапруження зорового апарату.

Однак лише значення освітленості не є достатнім для оцінки якості освітлення. Важливе значення мають також такі параметри, як рівномірність освітлення, відсутність різких тіней, коефіцієнт пульсації світлового потоку та індекс кольоропередачі. Нерівномірне освітлення призводить до постійної адаптації зору, що викликає втому, тоді як високий рівень пульсації може негативно впливати на нервову систему та загальне самопочуття людини.

Особливу увагу слід приділяти джерелам світла, які використовуються в системах освітлення. Історично широке застосування отримали лампи розжарювання, принцип роботи яких базується на нагріванні вольфрамової нитки до температури світіння. Проте такі лампи характеризуються низькою енергоефективністю, оскільки лише незначна частина електричної енергії

перетворюється у видиме світло, тоді як основна частина витрачається на нагрівання.

У сучасних умовах все більшого поширення набувають світлодіодні джерела світла, які мають принципово інший механізм генерації світла. Їх робота базується на явищі електролюмінесценції, що дозволяє досягти значно вищих показників світловіддачі. Це забезпечує не лише економію електроенергії, але й підвищення якості освітлення.

Крім вибору джерел світла, важливим елементом є правильне розташування світильників у приміщенні. Світильники повинні розміщуватись таким чином, щоб забезпечити рівномірний розподіл світлового потоку по всій площі. Неправильне розташування призводить до утворення зон недостатньої або надлишкової освітленості, що негативно впливає на умови зорової роботи.

Ще одним важливим аспектом є режим роботи освітлювальної системи. У традиційних системах освітлення світильники працюють незалежно від реальної потреби, що призводить до нераціонального використання електроенергії. Сучасні підходи передбачають використання автоматизованих систем керування освітленням, які дозволяють вмикати та вимикати світло залежно від присутності людей або рівня природного освітлення.

Таким чином, ефективна система освітлення повинна поєднувати в собі декілька ключових характеристик: достатній рівень освітленості, рівномірність розподілу світла, високу енергоефективність та адаптивність до умов експлуатації. Недотримання хоча б одного з цих параметрів призводить до зниження якості освітлення та збільшення енергетичних витрат.

1.2 Аналіз впливу якості освітлення на зорову працездатність

Окрім кількісних показників освітленості (лк), критичне значення для навчальних закладів має якість світлового середовища. Традиційні лампи розжарювання та застарілі люмінесцентні світильники мають високий коефіцієнт пульсації (мерехтіння), який може досягати 15-30%. Невидиме оку

мерехтіння призводить до швидкої стомлюваності зорового апарату, зниження концентрації уваги учнів та головного болю [3]. Сучасні LED-світильники, обрані для реконструкції (наприклад, панелі ДВО з якісними драйверами), мають коефіцієнт пульсації менше 5%. Крім того, індекс кольоропередачі (CRI) обраних світлодіодів становить >80 , що забезпечує природне сприйняття кольорів, наближене до сонячного світла (CRI = 100). На Рисунку 1.1 наведено порівняльний аналіз коефіцієнта пульсації для різних джерел світла».

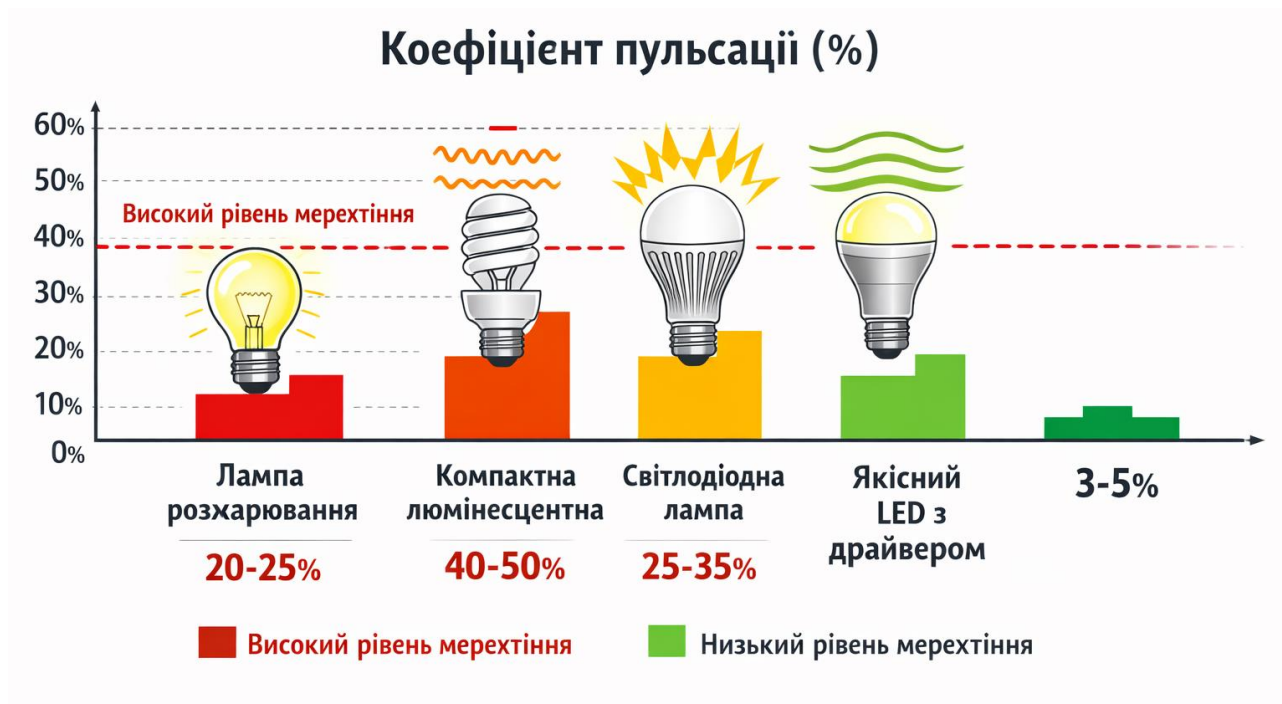


Рисунок 1.1 – Порівняння коефіцієнта пульсації світлового потоку різних джерел світла.

1.3 Аналіз сукупної вартості

Прийняття рішення щодо модернізації системи освітлення має базуватися не лише на вартості обладнання, а й на аналізі сукупної вартості володіння (ТСО) впродовж життєвого циклу проекту (наприклад, 10 років). Хоча капітальні витрати на закупівлю LED-світильників та датчиків присутності є значними на початковому етапі, експлуатаційні витрати різко знижуються. До експлуатаційних витрат відносяться не лише витрати на електроенергію, які скорочуються на 33% (з 178 тис. грн до 128 тис. грн на рік), але й витрати на

обслуговування. Термін служби ламп розжарювання становить близько 1000 годин, тоді як LED-панелей – 50 000 годин. Це означає, що за 10 років експлуатації школу омине необхідність регулярної закупівлі сотень ламп на заміну та оплати праці електрика. Динаміку накопичених витрат проілюстровано на графіку (Рис. 1.2)».

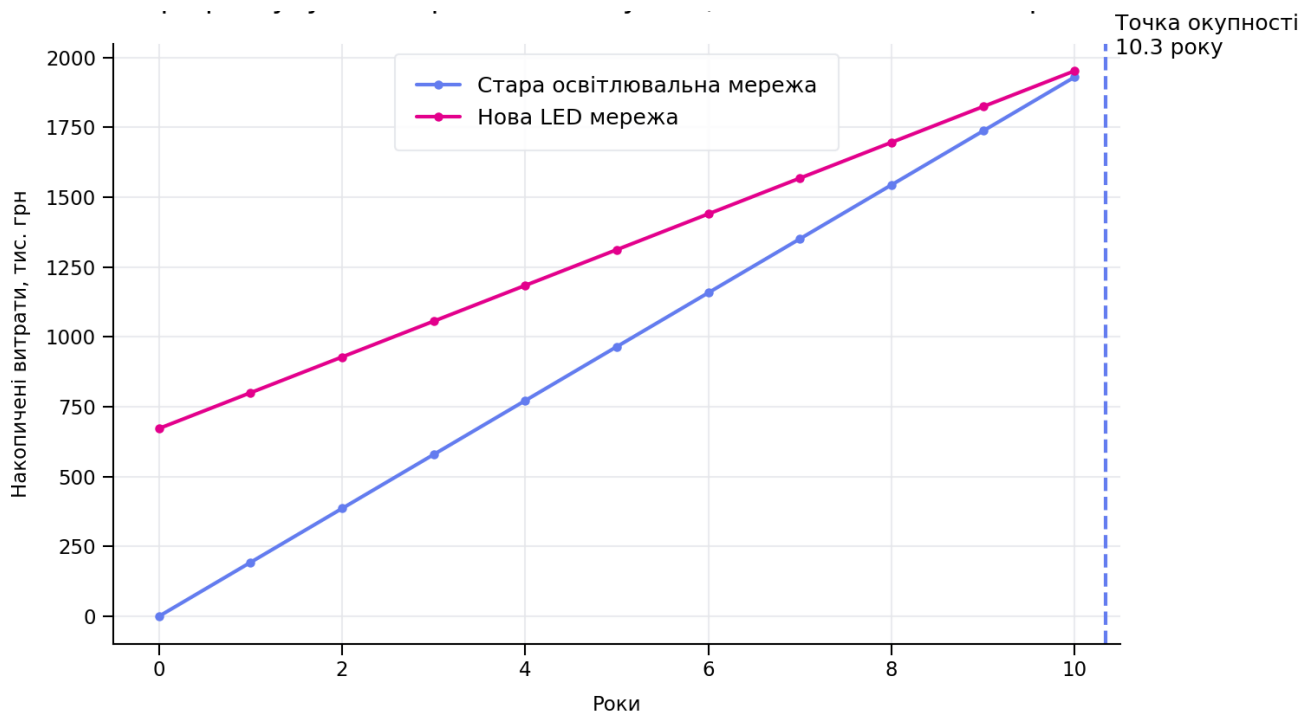


Рисунок 1.2 – Графік сукупної вартості експлуатації старої та нової освітлювальних мереж.

З наведеного графіка видно, що на початковому етапі експлуатації нова LED-освітлювальна мережа потребує значних капітальних інвестицій, у зв'язку з чим її сукупні витрати вищі порівняно зі старою мережею. Однак завдяки суттєво меншим щорічним експлуатаційним витратам зростання сукупних витрат LED-мережі відбувається значно повільніше. Точка перетину кривих відповідає моменту окупності проекту, який становить приблизно 10,3 року. Після досягнення цього терміну подальша експлуатація нової LED-освітлювальної мережі є економічно доцільною, оскільки забезпечує зниження витрат у порівнянні зі старою системою освітлення.

1.4 Особливості застосування LED-освітлення в навчальних закладах

Раціональне використання електроенергії в системах освітлення навчальних закладів передбачає зниження витрат енергії при обов'язковому дотриманні встановлених санітарних вимог до рівня освітленості робочих зон. У більшості аудиторій та приміщень освітніх установ штучне світло доповнюється природним, що призводить до нерівномірного освітлення різних ділянок. Тому важливим є забезпечення можливості регулювання інтенсивності світлового потоку. Такі вимоги ефективно реалізуються завдяки використанню світлодіодних освітлювальних приладів.

Світлодіодні джерела світла мають низку характерних переваг:

- не випромінюють інфрачервоні та ультрафіолетові хвилі;
- відзначаються високим рівнем пожежної безпеки;
- дозволяють скоротити споживання електроенергії до 80% у порівнянні з лампами розжарювання;
- забезпечують миттєвий запуск без мерехтіння;
- створюють рівномірне освітлення без відблисків;
- характеризуються високою міцністю та довговічністю, що робить їх доцільними для використання в місцях з підвищеним ризиком механічних впливів (наприклад, спортзали чи коридори).

Низька освітленість, наявність тіней, відблисків або викривлення кольорів негативно впливають на зорову систему людини, спричиняють втому та зниження концентрації уваги, що в свою чергу погіршує ефективність навчального процесу. Використання LED-світильників дозволяє забезпечити відповідність освітлення встановленим нормам у різних типах приміщень.

Для підвищення ефективності освітлення доцільно впроваджувати автоматизовані системи керування, які можуть самостійно вмикати та вимикати освітлення, а також регулювати його яскравість у залежності від умов у конкретній зоні. Такі системи аналізують рівень освітленості та відповідно коригують роботу світильників.

Світлодіодні прилади з вбудованими датчиками руху здатні автоматично реагувати на присутність людей, що робить їх оптимальними для використання у місцях з непостійним перебуванням людей — на сходових клітинах, у коридорах, санітарних приміщеннях.

Важливим елементом системи освітлення є аварійне освітлення. LED-пристрої цього типу поділяються на евакуаційні, які позначають шляхи виходу, та резервні, що забезпечують освітлення при відключенні основного живлення. Вони можуть функціонувати як у постійному режимі (з переходом на акумулятор у разі аварії), так і в режимі увімкнення лише при зникненні електропостачання.

1.5 Висновки до розділу 1

У результаті проведеного аналізу встановлено, що система освітлення навчальних закладів має суттєвий вплив на зорову працездатність, комфорт та ефективність навчального процесу. Основними вимогами до неї є забезпечення нормативного рівня освітленості, рівномірності світлового потоку та мінімізація негативних факторів, зокрема пульсації і відблисків.

Визначено, що традиційні джерела світла не відповідають сучасним вимогам через низьку енергоефективність та незадовільні якісні характеристики освітлення. Натомість світлодіодні світильники забезпечують кращі показники світловіддачі, довговічності та якості світлового середовища.

Аналіз сукупної вартості показав, що впровадження LED-освітлення є економічно доцільним у довгостроковій перспективі за рахунок зниження витрат на електроенергію та обслуговування, незважаючи на вищі початкові інвестиції.

Встановлено, що додаткове підвищення ефективності досягається шляхом впровадження автоматизованих систем керування освітленням, які дозволяють адаптувати роботу системи до реальних умов експлуатації.

2 РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ

2.1 Характеристика освітлювальної та силової мережі

Живлення школи здійснено повітряною лінією протяжністю $L = 300 \text{ Лк}240 \text{ м}$ від $\text{ТП} - 256 \text{ } 160 \text{ кВА } \Phi.3$ проводами $4 \times A - 35$ до опори №8, далі від опори до ввідного розподільчого пристрою (ВРП) $0,4 \text{ кВ}$ розташованого в підвалі прокладена кабельна лінія $4 \times \text{АВВГ} - 16$. На ВРП встановлено прилад обліку 2 класу точності та автоматичний вимикач $\text{АВ} - 63 \text{ А}$.

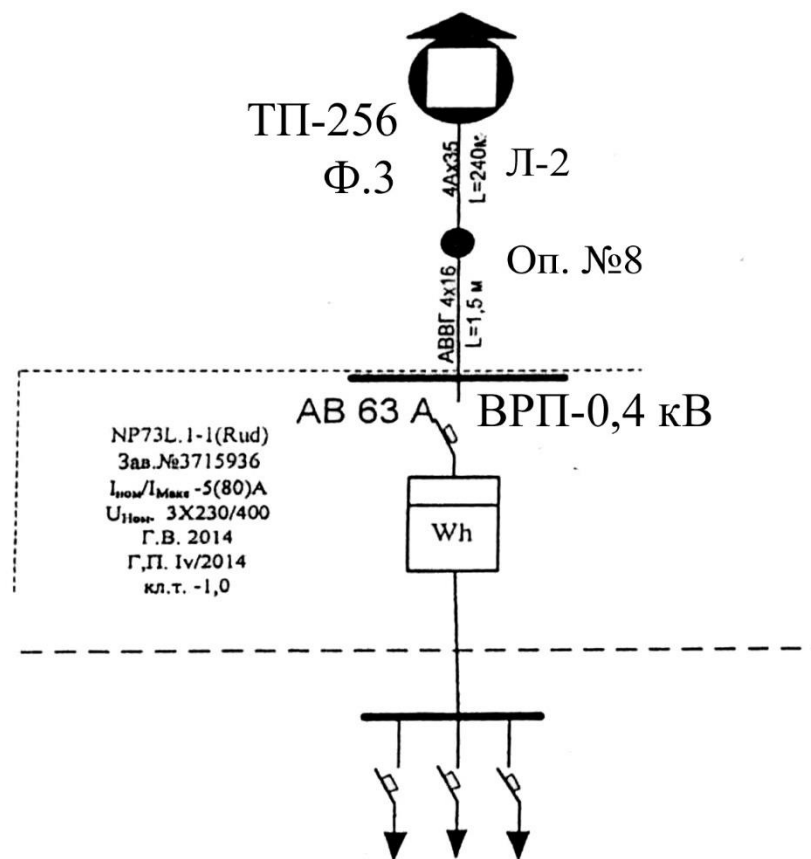


Рисунок 2.1 – Схема технологічного приєднання школи

Розведення мережі приховане, у стінах виконане мідними проводами ВВГ.

У підвалі розташовано ВРП, поруч із ним встановлені щит вуличного освітлення та щит аварійного освітлення.

На першому та другому поверсі є щит розетковий та щит освітлення. На кухні встановлено силовий щит.

У таблиці 2.1 вказано перелік електроприймачів школи.

Таблиця 2.1 – Перелік електроприймачів школи

№ ЕП	Найменування	Потужність, кВт	Кількість, шт.
1	Комп'ютер	0.4	52
2	Музичний центр	0.4	1
3	Проектор	0.3	14
4	Машина посудомийна	10	1
5	Марміт	3.46	1
6	Пароконвектомат	9.5	1
7	Чайник	1.5	4
8	Мікрохвильова піч	0.8	3
9	Парасолька вентиляційна	0.77	2
10	Бойлер	1.5	3
11	Плита	17	1
12	Плита із ЖШ	16.8	1
13	Сковорода	12	1
14	Котел	9	1
15	Картопличистка	0.75	1
16	М'ясорубка	1.91	1
17	Ел. освітлення (світильники)	0.095	352

Основна мережа освітлення виконана лампами розжарювання та люмінісцентними лампами що не є допустимим в освітньому закладі.

Освітлення приміщень навчальних закладів повинно відповідати вимогам чинних нормативних документів України, зокрема ДБН В.2.5-28:2018, санітарним нормам ДСанПіН 5.5.2.008-01, а також міжнародному стандарту EN 12464-1. Відповідно до цих документів, освітленість у навчальних аудиторіях

повинна становити 300–500 лк (оптимально 400 лк), на поверхні дошки — не менше 500 лк, у коридорах — 100–200 лк, у спортивних залах — 200–300 лк. При цьому рівномірність освітлення має бути не нижче 0,6–0,7, показник засліплення — не більше $UGR \leq 19$, а коефіцієнт пульсації світлового потоку — не перевищувати 10% (для сучасних систем — до 5%). Рекомендована колірна температура становить близько 4000 К, а індекс передачі кольору — не менше $Ra \geq 80$.

Згідно з вимогами нормативів, у навчальних приміщеннях доцільно застосовувати світлодіодні світильники з рівномірним розсіюванням світлового потоку, зокрема панелі типу 600×600 мм (Armstrong), вбудовані або накладні світильники загального освітлення, а також окремі лінійні світильники для підсвічування дошки. У допоміжних приміщеннях використовуються відповідні за умовами експлуатації світильники: у коридорах — лінійні або накладні, у санітарних вузлах — вологозахищені (не нижче IP44–IP65), у спортивних залах — світильники підвищеної міцності. Світильники повинні забезпечувати рівномірне освітлення, мати низький рівень засліплення, відповідати вимогам енергоефективності та електробезпеки, а також створювати комфортні умови для зорової роботи учнів і викладачів.

2.2 Аналіз споживання електроенергії

Основна частка споживання припадає на електрообладнання харчоблоку, а також насоси котельні та комп'ютерна техніка.

Піком споживання електроенергії є період часу з 6:00 до 9:00, оскільки харчоблок займається приготуванням обідів для учнів.

Освітлення у коридорах підтримується протягом усього робочого дня. Також є вуличне освітлення, яке підтримується в темний час доби.

На рисунках 2.2 – 2.5 представлені річні графіки енергоспоживання школи з 2022 по 2025 рік.

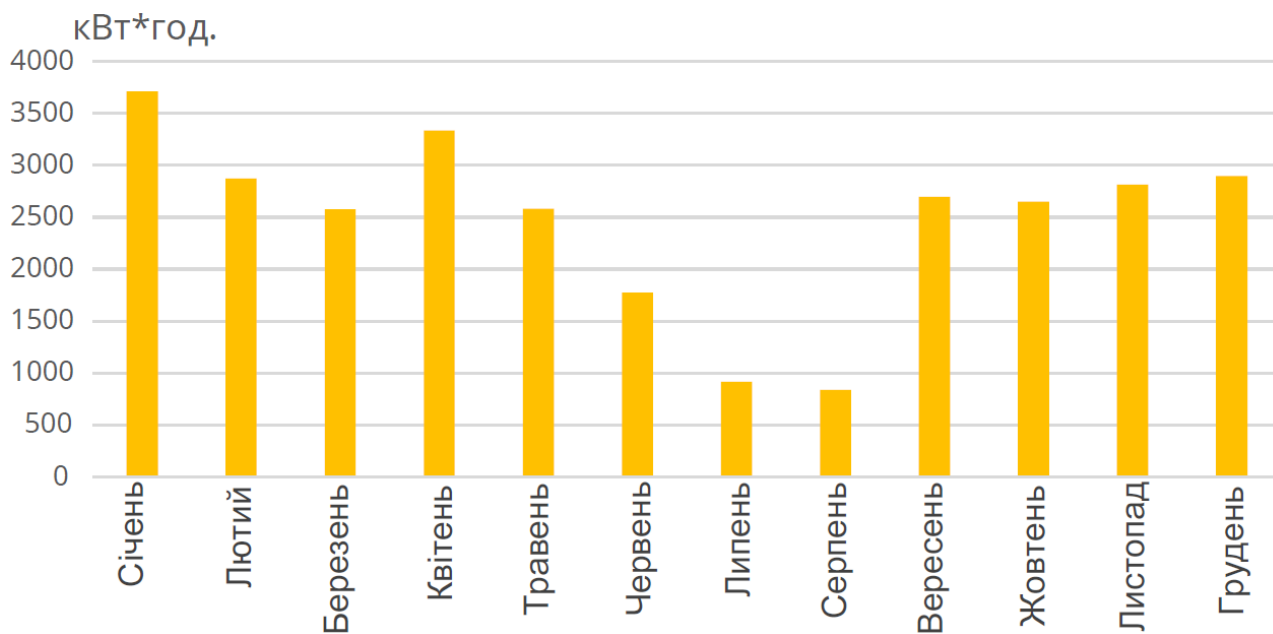


Рисунок 2.2 – Споживання електроенергії за 2022 рік

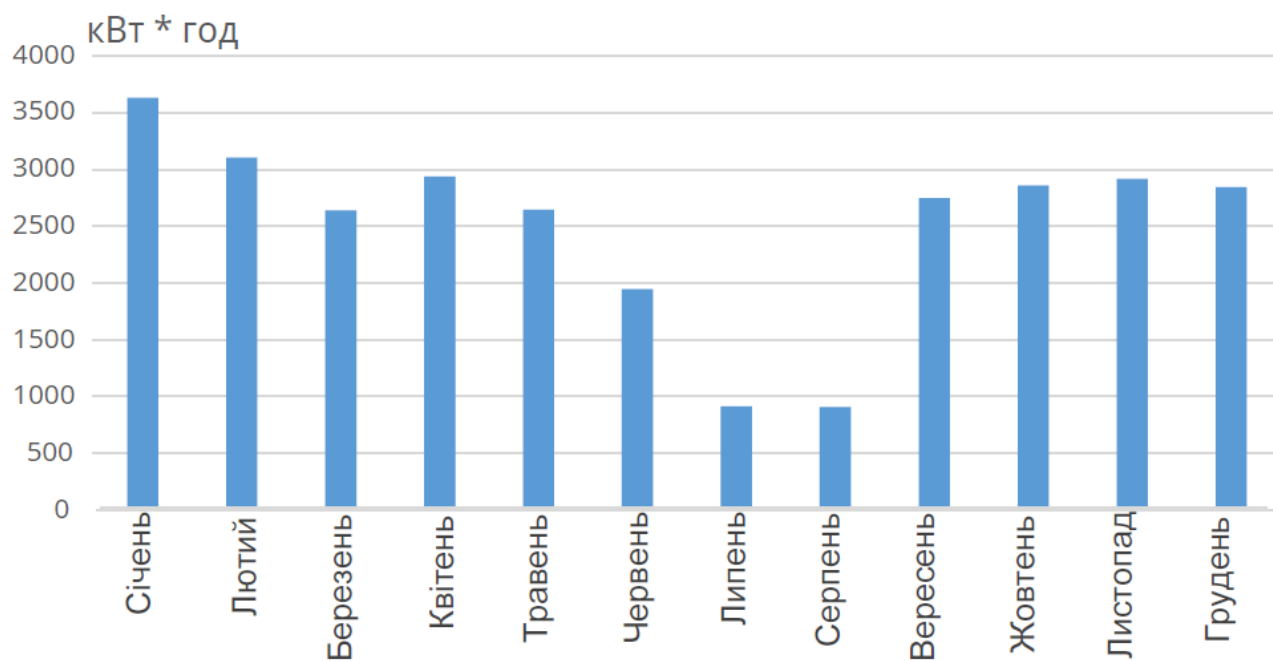


Рисунок 2.3 – Споживання електроенергії за 2023 рік

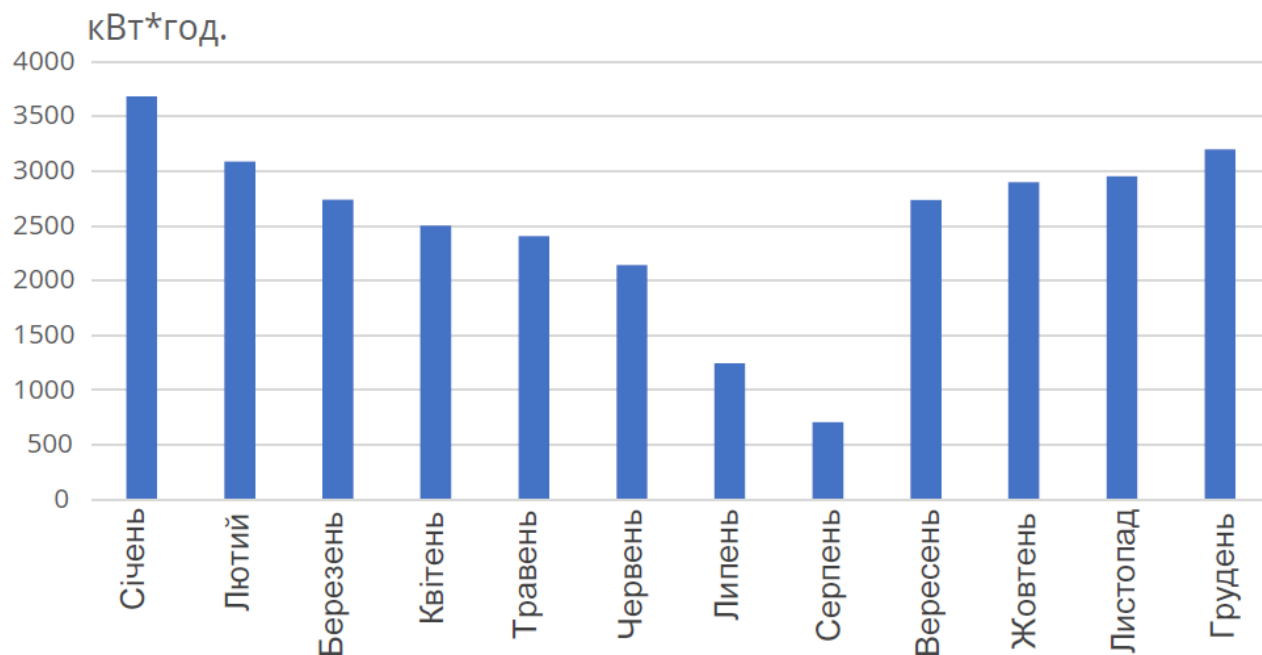


Рисунок 2.4 – Споживання електроенергії за 2024 рік

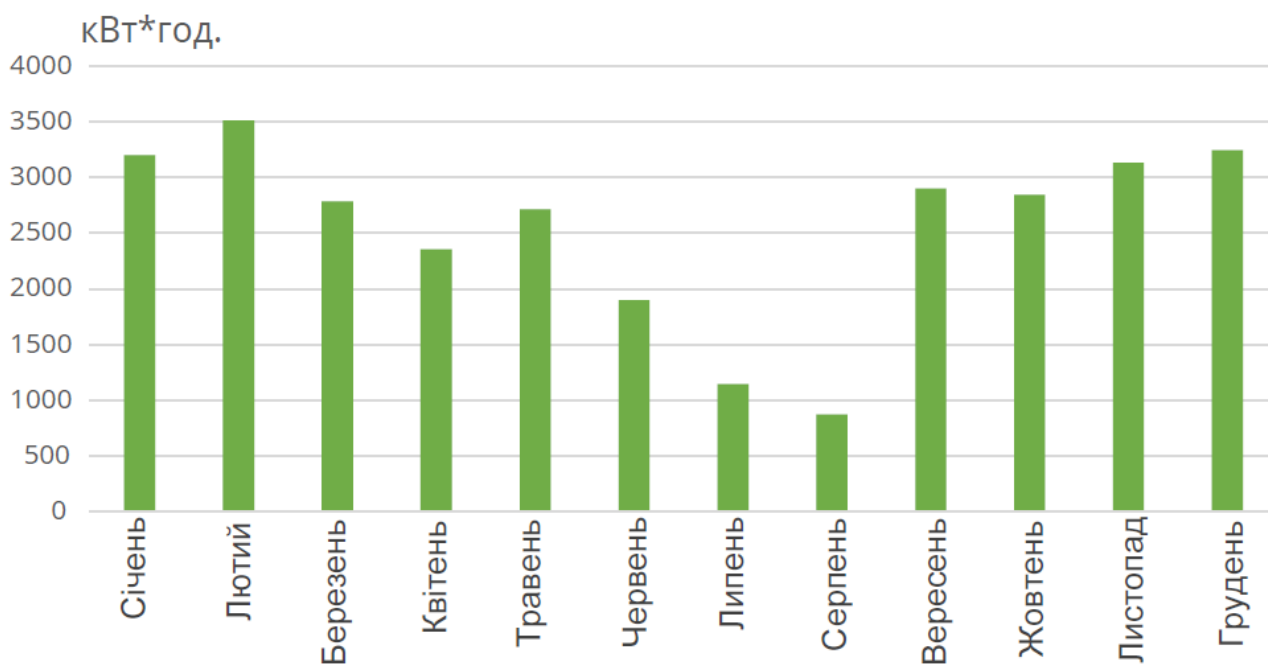


Рисунок 2.5 – Споживання електроенергії за 2025 рік

З графіків бачимо, що у літню пору року енергоспоживання мінімальне у зв'язку з відсутністю навчальних занять.

На рис. 2.6 представлено діаграму енергоспоживання за останні чотири роки.

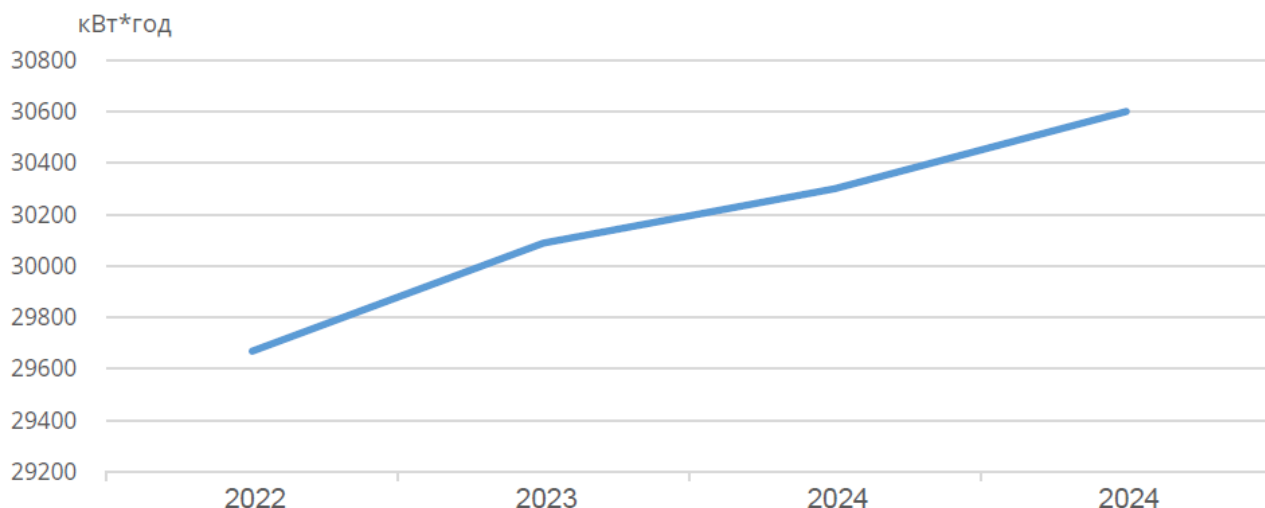


Рисунок 2.6 – Споживання електроенергії з 2022 по 2025 рік.

З графіка можна побачити, що енергоспоживання з кожним роком зростає.

2.3 Розрахунок енергоспоживання освітлювальної мережі

Як основне освітлення використовуються лампи розжарювання потужністю 95 Вт.

Лампи розжарювання вкрай неефективні щодо енергоспоживання. Основна частина електрики, яку вони споживають, перетворюється на тепло, а не на світло. Їх світловіддача (кількість світла, що виробляється на кожен ват споживаної енергії) дуже низька - всього 10-12 люменів на ват (лм/Вт). Це означає, що лише 1.6-3% споживаної енергії перетворюється на видиме світло; у найефективніших варіантах цей показник досягає 5.1%.

Для оцінки енергоефективності освітлювальних приладів використовується семиступінчаста шкала класів енергоефективності (від А до G, де А найефективніший клас, а G найменш ефективний). Лампи розжарювання займають найнижчі позиції у цій шкалі - класи E, F і G.

Саме через низьку енергоефективність і, отже, велику витрату електроенергії, лампи розжарювання поступово замінюються більш сучасними та економічними аналогами. Їх вважають застарілою технологією.

У табл. 2.2 наведено дані про потужність освітлювальних приладів школи.

Таблиця 2.2 – Потужність освітлювальної мережі

Кількість та встановлена потужність світильників					
Зі світловою віддачею менше 35 лм / Вт		Зі світловою віддачею від 35 до 100 лм / Вт		Зі світловою віддачею більше 100 лм / Вт	
Шт.	кВт	Шт.	кВт	Шт.	кВт
352	33.45	28	0.98	5	0.02

За даними проекту, при однозмінному режимі школи час роботи світильників за рік становить 700 годин.

При розрахунку споживання електроенергії протягом року використовують формулу:

$$W_{\text{рік}} = P \cdot t_{\text{рік}}$$

де P – сумарна потужність всіх світильників у кіловатах,

$t_{\text{рік}}$ – час роботи світильників за рік у годинах.

За даними школи час роботи освітлення у школі становить 700 годин на рік, а освітлювальне навантаження усієї школи 34,45 кВт. Освітлювальне навантаження робочих приміщень (кабінети, коридори, читальні зали тощо) становить 22,04 кВт.

$$W_{\text{рік}} = 22,04 \cdot 700 = 15430 \text{ (кВт} \cdot \text{год)}$$

На рисунках 2.7-2.10 представлені частки споживання освітлювальної мережі загального споживання за 2022-2025 роки.



Рисунок 2.7 – Частки споживання за 2022 рік.



Рисунок 2.7 – Частки споживання за 2023 рік.



Рисунок 2.8 – Частки споживання за 2024 рік.

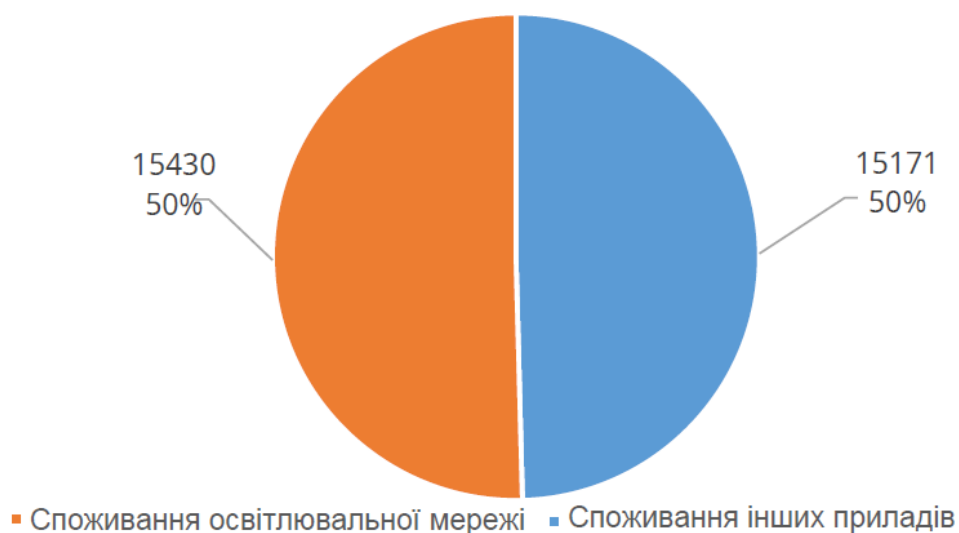


Рисунок 2.8 – Частки споживання за 2025 рік.

Виходячи з даних графіків можна помітити, що освітлювальна мережа споживає приблизно 50% електроенергії від загального споживання.

Зменшити енергоспоживання освітлення можна замінивши лампи розжарювання та люмінесцентні лампи сучасними світлодіодними світильниками.

2.4 Розрахунок освітлювальної мережі

2.4.1 Основне освітлення

Розрахунок робочого освітлення розпочнемо з навчальних приміщень.

У навчальних приміщеннях слід застосовувати систему загального освітлення. Світильники розташовуються паралельно світлонесучій стіні на відстані 1.2 м від зовнішньої стіни та 1.5 м від внутрішньої. Світильники зі світлодіодами розташовуються з урахуванням вимог щодо обмеження показника дискомфорту відповідно до гігієнічних вимог до природного, штучного, поєднаного освітлення житлових та громадських будівель. [4,5]

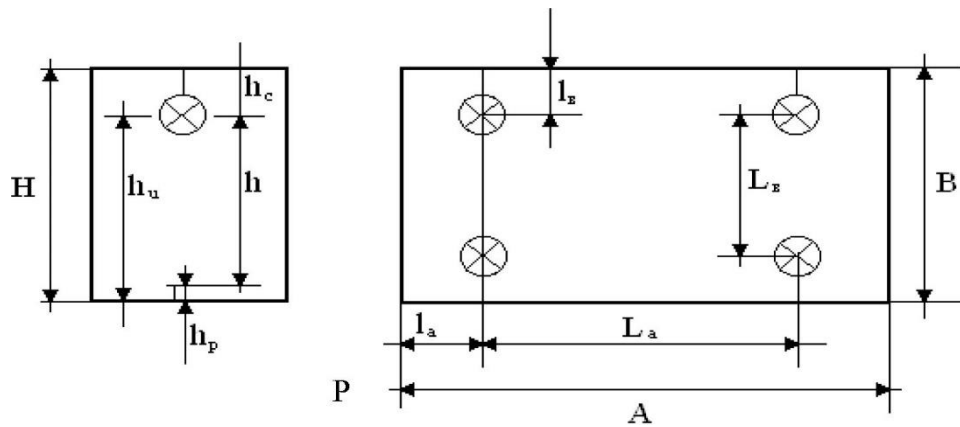


Рисунок 2.9 – Розміщення світильників

h_c – висота підвіски світильників, м;

h_p – висота робочої поверхні, м;

h_u – висота підвісу світильників над підлогою, м;

h – розрахункова висота, м;

H – висота будівлі, м;

l_a – відстань від стінки до світильників поперечної осі, м;

l_b – відстань від стінки до світильників у поздовжній осі, м;

L_a – відстань між світильниками в поздовжній осі, м;

L_b – відстань між світильниками поперечної осі, м;

A – довжина приміщення, м;

B – ширина приміщення, м

Наприклад візьмемо розрахунок приміщення під номером 16 на плані.

Розміри $A \times B \times H = 8,38 \times 5,87 \times 3$ м.

Відповідно до ПУЕ приймаємо висоту робочої поверхні $h_p = 0,8$ м, а висоту підвісу $h_c = 0$ м

Визначимо висоту підвісу світильників над робочою поверхнею:

$$h = H - h_p - h_c$$

де h – розрахункова висота

H – висота будівлі, м;

$$h = 3 - 0,8 = 2,2 \text{ м}$$

Відстань між світильниками в поздовжній осі:

$$L_A = \lambda_e \cdot h$$

де λ_e – відношення відстані між світильниками і рядами світильників. Приймаємо $\lambda_e = 1.6$ для світильників із косинусною кривою сили світла. Тоді відстань між світильниками в ряду:

$$L_A = 1.6 \cdot 3 = 3.52 \text{ м.}$$

Кількість світильників у рядку:

$$n_A = \frac{A}{L_A}$$

Де A – довжина приміщення.

$$n_A = \frac{8,38}{3,52} = 2,38 \approx 3 \text{ шт.}$$

Відстань від стіни до крайніх світильників:

$$l_A = \frac{A - L_A \cdot (n_A - 1)}{2}$$

$$l_A = \frac{8,38 - 3,52 \cdot (2 - 1)}{2} = 1,19 \text{ м.}$$

Приймаємо відстань між рядами $L_B = 3 \text{ м.}$ $L_A/L_B = 3,52/3 = 1,17 < 1,5$, де 1,5 – рекомендоване число, за яке не повинно виходити відношення L_A/L_B .

Кількість рядів:

$$n_B = \frac{B}{L_B} = \frac{5,87}{3} \approx 2$$

Відстань від крайнього ряду до стіни

$$l_B = \frac{B - L_B \cdot (n_B - 1)}{2}$$

$$l_B = \frac{24 - 6 \cdot (4 - 1)}{2} = 3 \text{ м.}$$

Загальна кількість світильників у приміщенні:

$$N = n_A \cdot n_B = 2 \cdot 3 = 6 \text{ шт.}$$

Розрахунок освітлення здійснимо методом коефіцієнта використання світлового потоку. При розрахунку за цим методом світловий потік ламп у

кожному світильнику, необхідний створення заданої мінімальної освітленості, визначається за формулою:

$$\Phi = \frac{E_n \cdot K_{зан} \cdot F \cdot Z}{N \cdot \eta}$$

де E_n – номінальна освітленість, для інструментального цеху загальний рівень освітленості повинен становити $E_n = 300 \text{ Лк}$.

$K_{зан}$ – коефіцієнт запасу, для світлодіодних ламп $K_{зан} = 1,1$;

F – площа приміщення, м^2 ;

Z – коефіцієнт мінімальної освітленості, для світлодіодних ламп $Z = 1,1$;

N – число світильників;

η – коефіцієнт використання світлового потоку джерела світла.

Для визначення коефіцієнта використання знайдемо індекс приміщення:

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)}$$

$$i = \frac{8,38 \cdot 5,87}{3 \cdot (8,38 + 5,87)} = 1,57 \approx 1,5$$

Прийmemo коефіцієнти відображення поверхонь приміщення: стелі – $\rho_c = 0,7$, стін – $\rho_c = 0,5$, підлоги – $\rho_n = 0,3$.

Потім за індексом приміщення та коефіцієнтами відображення визначаємо коефіцієнт використання світлового потоку світлодіодного світильника за таблицею коефіцієнта використання $\eta = 0,75$. Тоді світловий потік:

$$\Phi = \frac{300 \cdot 1,1 \cdot 8,38 \cdot 5,87}{6 \cdot 0,75} = 3968 \text{ лм.}$$

Прийmemo світлодіодні світильники PPL 595/U 48w 6500K 4200Lm IP40 зі світловим потоком 4200 лм.

Фактичний світловий потік, створюваний прийнятою кількістю світильників

$$\Phi_\phi = N \cdot \Phi_L$$

де Φ_L – світловий потік світильника.

$$\Phi_\phi = 6 \cdot 4200 = 25200 \text{ лм}$$

Порівнюємо фактичне значення світлового потоку із загальним необхідним світловим потоком:

$$\Delta\Phi_{\%} = \frac{\Phi_L - \Phi}{\Phi} \cdot 100\%$$

$$\Delta\Phi_{\%} = \frac{4200 - 3968}{3968} \cdot 100\% = 5,85\%$$

Відхилення становить 5,85% і входить до допустимих меж від -10% до +10% для світлодіодних світильників.

Вибір системи освітлення для освітніх установ – завдання, що потребує комплексного підходу, що враховує безліч факторів, починаючи від простоти обслуговування та закінчуючи впливом на здоров'я та успішність учнів. Першорядним є забезпечення зручного доступу до світильників для проведення планових перевірок, ремонту та заміни елементів, якщо такі будуть потрібні. Це є критично важливим для мінімізації простоїв та забезпечення безперебійної роботи системи освітлення, що особливо актуально для шкіл, де безперервне функціонування освітлення є невід'ємною частиною навчального процесу. Крім того, економічна доцільність – не менш важливий аспект. Необхідно вибирати рішення, що забезпечують оптимальне співвідношення енергоефективності та вартості володіння протягом усього терміну експлуатації. [3]

Результати досліджень, проведених авторитетним Науковим центром здоров'я дітей, однозначно свідчать про переваги світлодіодних світильників для шкіл. Ці дослідження показали не просто відповідність світлодіодних джерел світла санітарно-гігієнічним нормам, а й їхній позитивний вплив на психоемоційний стан дітей. Це особливо важливо в умовах інтенсивного навчального навантаження, де комфортне і правильно організоване світлове середовище здатне значно підвищити ефективність навчання та знизити рівень стресу у школярів. На противагу цьому використання традиційних люмінесцентних ламп, крім своєї неефективності в плані енергоспоживання, є

серйозною загрозою для здоров'я. Ризик випадкового пошкодження ламп та подальшого отруєння парами ртуті - реальна небезпека, підтверджена численними випадками у школах по всій країні. Світлодіоди ж, у свою чергу, повністю позбавлені цього недоліку, будучи екологічно безпечними і шкідливими речовинами, що не містять.

Нормативні документи, що регламентують висвітлення у дитячих освітніх установах, встановлюють суворі вимоги до коефіцієнта пульсації світлового потоку. Цей показник, що відбиває мерехтіння світла, не повинен перевищувати 10%. Люмінесцентні лампи суттєво перевищують цей показник, досягаючи значень у 25-40%, що негативно позначається на зорі та загальному самопочутті дітей. Світлодіодні світильники мають коефіцієнт пульсації менше 4%, підтверджений незалежними протоколами вимірювань, що гарантує комфортне і безпечне для зору світлове середовище. Можливість точного регулювання рівня освітленості дозволяє легко забезпечити відповідність усім вимогам у будь-яких приміщеннях школи – від звичайних класів та спеціалізованих кабінетів інформатики до просторих спортзалів. Факт схвалення світлодіодного освітлення для шкіл з є вагомим аргументом на користь вибору цієї технології. [3]

Турбота про зір школярів - одне з найважливіших аспектів під час виборів системи висвітлення. Світлодіодні світильники, завдяки своєму безтіньовому ефекту, забезпечують рівномірний розподіл світла, мінімізуючи навантаження на очі. Це сприяє зниженню зорової втоми, підвищенню концентрації уваги і, як наслідок, покращенню засвоєння навчального матеріалу. Ще однією важливою перевагою світлодіодних світильників є повна відсутність витратних матеріалів. Відсутність необхідності заміни ламп та їх подальшої утилізації значно знижує експлуатаційні витрати та спрощує обслуговування системи освітлення. Довговічність світлодіодних світильників – понад 75 000 годин безперебійної роботи без зниження світлового потоку – є незаперечною економічною перевагою, що дозволяє скоротити витрати на заміну та ремонт. Надійність конструкції, що забезпечується міцними полікарбонатними

розсіювачами, захищає світильники від механічних пошкоджень та продовжує термін їхньої служби. У результаті вибір світлодіодних світильників для шкіл - це інвестиція у здоров'я, безпеку та ефективність освітнього процесу.

При виборі світильників для освітлення школи необхідно враховувати декілька ключових параметрів:

- Колірна температура. Оптимальний варіант для навчальних закладів – 4000–5000 K, що відповідає нейтральному білому світлу. Така температура сприяє концентрації та зниженню втоми очей.
- Індекс кольоропередачі (CRI). Для шкільних світильників рекомендується вибирати моделі з індексом кольору не нижче 80. Вони можуть забезпечувати природне сприйняття кольорів і знижувати навантаження на зір учнів.
- Рівень освітленості. Освітленість у класі має бути рівномірною та достатньою для виконання навчальних завдань. Рекомендований рівень освітленості для навчальних приміщень – не менше 300 люкс.
- Енергоефективність. LED-світильники мають високу енергоефективність, що дозволяє суттєво знизити витрати на електроенергію. Важливо вибирати моделі із високим коефіцієнтом світловіддачі (лм/Вт).
- Відсутність мерехтіння. Мерехтіння світильників може викликати втому та подразнення очей, а також знизити продуктивність учнів. Якісні LED-світильники забезпечують стабільне освітлення без мерехтіння.
- Довговічність. Світильники для шкіл повинні бути надійними та довговічними, щоб мінімізувати необхідність частої заміни та технічного обслуговування.
- Рівень захисту. У навчальних закладах світильники повинні мати достатній ступінь захисту від пилу та вологи (IP). Для приміщень загального користування рекомендується використовувати світильники з рівнем захисту не нижче IP20.

У таблицях 2.3 та 2.4 представлені світлотехнічний розрахунок та використовувані світильники.

Таблиця 2.3 – Світлотехнічний розрахунок

№ на плані	A , м	B , м	H , м	h , м	L_a	L_6	N	i	E_H	K_6	Φ	$\Phi_{л}$	$\Delta\Phi$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	2.3	1.27	3	2.2	3.5	3	1	0.37	200	0.4	1964	2000	1.86%
2	13.47	8.47	3	2.2	3.5	3	9	2.36	200	0.9	3567	3600	0.92%
3	8.64	2.53	3	2.2	3.5	3	3	0.89	200	0.6	3094	3000	-3.02%
4	14.14	5.07	3	2.2	2.5	2.5	12	1.70	500	0.8	4575	4500	-1.64%
5	2.96	1.93	3	2.2	3.5	3	1	0.53	200	0.4	3840	3600	-6.26%
6	5.63	3.97	3	2.2	3.5	3	2	1.06	200	0.6	4226	4200	-0.61%
7	17.37	8.61	6.3	5.5	4	3	9	1.05	300	0.6	9425	10240	8.65%
8	6.11	5.59	3	2.2	2.5	4	4	1.33	300	0.7	4492	4500	0.18%
9	5.57	2.68	3	2.2	3.5	3	2	0.82	200	0.5	3345	3600	7.63%
10	1.93	1.25	3	2.2	3.5	3	1	0.34	300	0.4	2433	2400	-1.34%
11	3.48	1.25	3	2.2	3.5	3	1	0.42	200	0.4	2924	3000	2.59%
12	5.51	2.34	3	2.2	3.5	3	2	0.75	200	0.5	2889	3000	3.84%
13	2.69	2.1	3	2.2	2	2	2	0.54	300	0.4	2848	3000	5.34%
14	2.98	2.69	3	2.2	2.5	2.5	2	0.64	300	0.4	3384	3600	6.40%
15	15.35	2.63	3	2.2	3.2	3	5	1.02	200	0.6	3257	3000	-7.88%
16	8.38	5.87	3	2.2	3	3	6	1.57	300	0.8	3968	4200	5.85%
17	8.4	6.1	3	2.2	3	3	6	1.61	300	0.8	4133	4200	1.61%
18	8.52	6.07	3	2.2	3	3	6	1.61	300	0.8	4172	4200	0.68%
19	2.64	1.93	3	2.2	3.5	3	1	0.51	200	0.4	3425	3600	5.11%
20	3.32	1.93	3	2.2	3.5	3	1	0.55	200	0.4	3606	3600	-0.17%
21	6.06	3.63	3	2.2	3.5	3	4	1.03	300	0.6	3327	3600	8.20%
22	3	2.84	3	2.2	2.5	2.5	2	0.66	300	0.5	3222	3000	-6.88%
23	2.19	3.03	3	2.2	3.5	3	1	0.58	200	0.4	3735	3600	-3.60%
24	2.17	1.56	3	2.2	3.5	3	1	0.41	200	0.4	2276	2400	5.47%
25	3.71	2.3	3	2.2	3.5	3	1	0.65	200	0.5	4302	4200	-2.37%
26	1.5	0.9	3	2.2	3.5	3	1	0.26	200	0.4	908	900	-0.83%
27	1.5	1.11	3	2.2	3.5	3	1	0.29	200	0.4	1119	1050	-6.19%
28	3.71	2.53	3	2.2	3	3	2	0.68	200	0.5	2366	2400	1.43%
29	2.17	1.8	3	2.2	3.5	3	1	0.45	200	0.4	2626	2800	6.64%
30	5.97	2.85	3	2.2	2.5	2.5	3	0.88	300	0.6	3612	3600	-0.33%
31	4.13	1.7	3	2.2	2.5	2.5	2	0.55	200	0.4	1976	2000	1.23%
32	5.85	5.98	3	2.2	3	3	4	1.34	300	0.7	4601	4500	-2.20%
33	3.3	2.9	3	2.2	3.5	2.5	2	0.70	300	0.5	3619	3600	-0.52%
34	2.9	2.58	3	2.2	2.5	2.5	2	0.62	300	0.4	3158	3000	-5.01%

продовження таблиці 2.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
35	7.74	2.73	3	2.2	3.5	3	4	0.92	200	0.6	2243	2400	7.01%
36	8.41	5.98	3	2.2	3.5	3	6	1.59	300	0.8	4057	4200	3.53%
37	5.98	2.75	3	2.2	3.5	2.5	4	0.86	300	0.6	2618	2800	6.94%
38	5.97	5.3	3	2.2	3.5	3	4	1.28	200	0.7	2774	2800	0.93%
39	1.86	1.85	3	2.2	3.5	3	1	0.42	200	0.4	2313	2400	3.76%
40	2.54	1.66	3	2.2	3.5	3	1	0.46	200	0.4	2834	3000	5.84%
41	1.88	0.75	3	2.2	3.5	3	1	0.24	200	0.4	948	1000	5.50%
42	3.08	2.54	3	2.2	3.5	3	1	0.63	200	0.4	4403	4500	2.21%
43	4.18	3.28	3	2.2	3.5	3	2	0.84	200	0.6	2910	3000	3.08%
44	3.14	1.78	3	2.2	3.5	3	1	0.52	200	0.4	3757	3600	-4.18%
45	5.98	5.78	3	2.2	3.5	3	4	1.34	300	0.7	4546	4500	-1.01%
46	1.64	0.98	3	2.2	3.5	3	1	0.28	200	0.4	1080	1000	-7.44%
47	10.74	5.89	3	2.2	3.5	3	6	1.73	200	0.8	3230	3000	-7.11%
48	26.5	2.74	3	2.2	3.5	3	8	1.13	200	0.6	3432	3600	4.90%
49	5.36	3.95	3	2.2	3.5	3	4	1.03	200	0.6	2135	2000	-6.32%
50	6.26	5.56	3	2.2	3.5	3	4	1.34	200	0.7	3052	3000	-1.70%
51	8.23	6.55	3	2.2	3.5	3	6	1.66	300	0.8	4128	4200	1.74%
52	8.2	2.23	3	2.2	2.5	3	3	0.80	300	0.5	4097	4200	2.50%
53	9.24	8.2	3	2.2	3.5	3	9	1.97	300	0.8	3682	3600	-2.22%
54	6.86	3.02	3	2.2	3.5	3	2	0.95	200	0.6	4178	4200	0.53%
55	3.92	1.92	3	2.2	3.5	3	1	0.59	200	0.4	4236	4200	-0.84%
56	3.91	3.72	3	2.2	3.5	3	2	0.87	200	0.6	3088	3000	-2.84%
57	3.58	1.17	3	2.2	3.5	3	1	0.40	200	0.4	2816	2800	-0.56%
58	3.02	1.77	3	2.2	3.5	3	1	0.51	200	0.4	3593	3600	0.19%
59	10.82	5.86	3	2.2	2.5	2.5	12	1.73	500	0.8	4046	4200	3.80%
60	8.38	5.87	3	2.2	3.5	3	6	1.57	300	0.8	3968	4200	5.85%
61	8.41	6.04	3	2.2	3.5	3	6	1.60	300	0.8	4098	4200	2.50%
62	6.04	1.06	3	2.2	3.5	3	2	0.41	200	0.4	2152	2000	-7.06%
63	7.43	6.04	3	2.2	3	3	6	1.51	300	0.8	3620	3600	-0.56%
64	8.88	6	3	2.2	3.5	3	6	1.63	300	0.8	4080	4200	2.93%
65	2.82	1.25	3	2.2	3.5	3	1	0.39	200	0.4	2370	2400	1.28%
66	2.97	2.36	3	2.2	3.5	3	2	0.60	300	0.4	2959	3000	1.40%
67	2.87	1.18	3	2.2	3.5	3	1	0.38	300	0.4	3415	3600	5.42%
68	2.87	1.16	3	2.2	3.5	3	1	0.38	300	0.4	3357	3600	7.24%
69	2.87	1.33	3	2.2	3.5	3	1	0.41	200	0.4	2566	2800	9.12%
70	2.97	2.63	3	2.2	2.5	2.5	2	0.63	300	0.4	3297	3000	-9.01%

продовження таблиці 2.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
71	5.96	3.18	3	2.2	3.5	2.5	4	0.94	300	0.6	3017	3000	-0.58%
72	8.38	5.98	3	2.2	3.5	3	6	1.59	300	0.8	4042	4200	3.90%
1	2	3	4	5	6	7	8	10	9	11	12	13	14
73	7.74	2.73	3	2.2	3.5	3	2	0.92	200	0.6	4486	4200	-6.37%
74	8.4	6.02	3	2.2	3.5	3	6	1.59	300	0.8	4079	4200	2.96%
75	6.02	2.86	3	2.2	3.5	3	2	0.88	200	0.6	3655	3600	-1.50%
76	11.48	5.99	3	2.2	3	3	8	1.79	300	0.8	3950	4200	6.34%
77	5.99	3.64	3	2.2	3.5	3	4	1.03	200	0.6	2199	2400	9.16%
78	4.24	0.68	3	2.2	3.5	3	1	0.27	200	0.4	1938	2000	3.19%
79	5.99	2.69	3	2.2	3.5	3	2	0.84	200	0.5	3611	3600	-0.29%
80	14.14	5.88	3	2.2	3	3	10	1.89	300	0.8	3636	3600	-1.00%
81	4.33	3.02	3	2.2	3	3	2	0.81	200	0.5	2930	3000	2.38%
82	55.38	2.74	3	2.2	3.5	3	16	1.19	200	0.7	3326	3600	8.23%
83	17.36	5.8	2.1	1.3	2.1	2	8	3.34	200	1	3173	3000	-5.44%
84	14.18	6.01	2.1	1.3	2.1	2	7	3.25	200	1	3069	3000	-2.25%
85	11.13	6.04	2.1	1.3	2.1	2	8	3.01	200	0.9	2187	2000	-8.53%
86	5.73	1.36	2.1	1.3	2.1	2	1	0.85	200	0.6	3309	3000	-9.33%
87	14.49	6	2.1	1.3	2.1	2	12	3.26	200	1	1826	2000	9.51%
88	6.04	3.07	2.1	1.3	2.1	2	2	1.57	200	0.8	2992	3000	0.28%
89	3.03	2.19	2.1	1.3	2.1	2	1	0.98	200	0.6	2676	2800	4.62%
90	6.04	5.69	2.1	1.3	2.1	2	3	2.25	200	0.9	3224	3000	-6.94%
91	11.29	6.04	2.1	1.3	2.1	2	5	3.03	200	0.9	3549	3600	1.44%
92	6.08	6.04	2.1	1.3	2.1	2	4	2.33	200	0.9	2583	2800	8.38%
93	8.64	6.05	2.1	1.3	2.1	2	4	2.74	200	0.9	3553	3600	1.31%
94	5.55	5.52	2.1	1.3	2.1	2	4	2.13	200	0.8	2233	2400	7.47%
95	5.56	3.2	2.1	1.3	2.1	2	2	1.56	200	0.8	2870	3000	4.51%
96	5.56	3.2	2.1	1.3	2.1	2	2	1.56	200	0.8	2870	3000	4.51%
97	9.92	5.61	2.1	1.3	2.1	2	6	2.76	200	0.9	2414	2400	-0.56%
98	14.66	2.48	2.1	1.3	2.1	2	4	1.63	200	0.8	2784	2800	0.56%
99	14.66	5.57	2.1	1.3	2.1	2	8	3.10	200	0.9	2656	2800	5.42%
100	6.13	5.63	2.1	1.3	2.1	2	4	2.26	200	0.9	2428	2400	-1.15%
101	55.61	2.61	2.1	1.3	2.4	2	22	1.92	200	0.8	1924	2000	3.97%

Таблиця 2.4 – Вибрані світильники

№ приміщення	Аналог світильника (Ватра)
1	Ватра ЛПО LED 20Вт 4000К
2	Ватра LED панель 36Вт 595×595
3	Ватра LED 36Вт IP65/IP67
4	Ватра ЛПО LED 45Вт призма
5	Ватра LED панель 36Вт 595×595
6	Ватра LED панель 48Вт 595×595
7	Ватра промисловий LED 60Вт IP65
8	Ватра ЛПО LED 45Вт призма
9	Ватра LED панель 36Вт 595×595
10	Ватра LED панель 36Вт 4000К
11	Ватра LED 36Вт IP65/IP67
12	Ватра LED панель 36Вт 595×595
13	Ватра LED панель 36Вт 595×595
14	Ватра LED панель 36Вт 595×595
15	Ватра LED панель 36Вт 595×595
16	Ватра LED панель 48Вт 595×595
17	Ватра ЛПО LED 20Вт 4000К
18	Ватра LED панель 36Вт 595×595
19	Ватра LED 36Вт IP65/IP67
20	Ватра ЛПО LED 45Вт призма
21	Ватра LED панель 36Вт 595×595
22	Ватра LED панель 48Вт 595×595
23	Ватра промисловий LED 60Вт IP65
24	Ватра ЛПО LED 45Вт призма
25	Ватра LED панель 36Вт 595×595
26	Ватра LED панель 36Вт 4000К
27	Ватра LED 36Вт IP65/IP67
28	Ватра LED панель 36Вт 595×595
29	Ватра LED панель 36Вт 595×595
30	Ватра LED панель 36Вт 595×595
31	Ватра LED панель 36Вт 595×595
32	Ватра LED панель 48Вт 595×595
33	Ватра ЛПО LED 20Вт 4000К
34	Ватра LED панель 36Вт 595×595
35	Ватра LED 36Вт IP65/IP67
36	Ватра ЛПО LED 45Вт призма

37	Ватра LED панель 36Вт 595×595
38	Ватра LED панель 48Вт 595×595
39	Ватра промисловий LED 60Вт IP65
40	Ватра ЛПО LED 45Вт призма
41	Ватра LED панель 36Вт 595×595
42	Ватра LED панель 36Вт 4000К
43	Ватра LED 36Вт IP65/IP67
44	Ватра LED панель 36Вт 595×595
45	Ватра LED панель 36Вт 595×595
46	Ватра LED панель 36Вт 595×595
47	Ватра LED панель 36Вт 595×595
48	Ватра LED панель 48Вт 595×595
49	Ватра ЛПО LED 20Вт 4000К
50	Ватра LED панель 36Вт 595×595
51	Ватра LED 36Вт IP65/IP67
52	Ватра ЛПО LED 45Вт призма
53	Ватра LED панель 36Вт 595×595
54	Ватра LED панель 48Вт 595×595
55	Ватра промисловий LED 60Вт IP65
56	Ватра ЛПО LED 45Вт призма
57	Ватра LED панель 36Вт 595×595
58	Ватра LED панель 36Вт 4000К
59	Ватра LED 36Вт IP65/IP67
60	Ватра LED панель 36Вт 595×595
61	Ватра LED панель 36Вт 595×595
62	Ватра LED панель 36Вт 595×595
63	Ватра LED панель 36Вт 595×595
64	Ватра LED панель 48Вт 595×595
65	Ватра ЛПО LED 20Вт 4000К
66	Ватра LED панель 36Вт 595×595
67	Ватра LED 36Вт IP65/IP67
68	Ватра ЛПО LED 45Вт призма
69	Ватра LED панель 36Вт 595×595
70	Ватра LED панель 48Вт 595×595
71	Ватра промисловий LED 60Вт IP65
72	Ватра ЛПО LED 45Вт призма
73	Ватра LED панель 36Вт 595×595
74	Ватра LED панель 36Вт 4000К

75	Ватра LED 36Вт IP65/IP67
76	Ватра LED панель 36Вт 595×595
77	Ватра LED панель 36Вт 595×595
78	Ватра LED панель 36Вт 595×595
79	Ватра LED панель 36Вт 595×595
80	Ватра LED панель 48Вт 595×595
81	Ватра ЛПО LED 20Вт 4000К
82	Ватра LED панель 36Вт 595×595
83	Ватра LED 36Вт IP65/IP67
84	Ватра ЛПО LED 45Вт призма
85	Ватра LED панель 36Вт 595×595
86	Ватра LED панель 48Вт 595×595
87	Ватра промисловий LED 60Вт IP65
88	Ватра ЛПО LED 45Вт призма
89	Ватра LED панель 36Вт 595×595
90	Ватра LED панель 36Вт 4000К
91	Ватра LED 36Вт IP65/IP67
92	Ватра LED панель 36Вт 595×595
93	Ватра LED панель 36Вт 595×595
94	Ватра LED панель 36Вт 595×595
95	Ватра LED панель 36Вт 595×595
96	Ватра LED панель 48Вт 595×595
97	Ватра ЛПО LED 20Вт 4000К
98	Ватра LED панель 36Вт 595×595
99	Ватра LED 36Вт IP65/IP67
100	Ватра ЛПО LED 45Вт призма
101	Ватра LED панель 36Вт 595×595

Також при виборі світильників були враховані особливі вимоги захисту від пилу та вологи для майстерні, душових та кухні.

2.4.2 Аварійне освітлення

Безпека дітей та персоналу в освітніх закладах – безумовне пріоритетне завдання. Ключовим елементом забезпечення цієї безпеки є надійна система аварійного освітлення, яка автоматично спрацьовує у разі збою основного електропостачання. Ця система абсолютно автономна, тобто не залежить від

роботи спільної мережі електроживлення, гарантуючи освітлення навіть за умов повного відключення електрики. [9] Аварійне освітлення, своєю чергою, ділиться на два основних види: евакуаційне та резервне. Кожен із них відіграє свою унікальну роль у забезпеченні безпеки.

Евакуаційне освітлення покликане забезпечити безпечну та швидку евакуацію людей із будівлі у разі надзвичайної ситуації. Його ключова функція – чітко позначити шляхи евакуації, щоб уникнути паніки та травм. Це включає освітлення всіх коридорів і проходів, що ведуть до виходів, з особливою увагою до місць, де існує підвищений ризик виникнення аварійних ситуацій. Наприклад, освітлення обов'язково має бути встановлене на сходах, причому кожен марш, особливо верхні та нижні сходинки, повинні бути добре освітлені прямим світлом, щоб запобігти падінню. Те саме стосується місць зміни рівня підлоги, перепадів висот і поворотів в коридорах. Важливо, що евакуаційне освітлення має бути досить яскравим і рівномірним, щоб люди могли легко орієнтуватися у просторі навіть за повної темряви.

Особлива увага приділяється зонам підвищеної небезпеки, таким як вузькі проходи, круті сходи або місця з нерівною підлогою. У великих приміщеннях площею понад 60 квадратних метрів передбачається так зване антипанічне освітлення, яке сприяє більш спокійному та організованому виходу людей, запобігаючи виникненню паніки в умовах обмеженої видимості. Крім того, евакуаційне освітлення має підсвічувати місця розташування засобів екстреного зв'язку (телефони, тривожні кнопки), первинних засобів пожежогасіння (вогнегасники, пожежні крани) та вказівники шляхів евакуації. Все це покликане забезпечити максимальну оперативність та ефективність евакуації у разі надзвичайної ситуації.

Резервне освітлення, на відміну від евакуаційного, призначене для забезпечення безперервної роботи певних приміщень та обладнання, які мають функціонувати навіть при відключенні основного освітлення. Це особливо важливо у приміщеннях, де переривання роботи може призвести до серйозних наслідків. До таких приміщень належать, наприклад, диспетчерські пункти,

операторські, електрощитові, медичні пункти, пости постійної охорони та пожежні пости, де цілодобова робота обладнання є критично важливою. Також резервне освітлення передбачається в гардеробах з великою кількістю місць зберігання (300 і більше), дитячих кімнатах, а також у групових та ігрових кімнатах дитячих садків та ясел. У цих приміщеннях безперервне освітлення необхідне для підтримки нормального функціонування та забезпечення безпеки людей, що там знаходяться. Мета резервного освітлення – забезпечити продовження діяльності та запобігти виникненню небезпечних ситуацій, пов'язаних із раптовим відключенням основного електропостачання.

На закінчення, можна сказати, що система аварійного освітлення в школах, дитячих садках та інших навчальних закладах - це складна і багатогранна система, що складається з взаємозалежних компонентів, кожен із яких відіграє свою важливу роль у забезпеченні безпеки. Вона забезпечує не тільки безпечну евакуацію у разі надзвичайних ситуацій, а й безперервну роботу важливих служб та приміщень, мінімізуючи ризики та забезпечуючи безпеку всіх учасників освітнього процесу. Скрупульозне дотримання всіх норм і правил при проектуванні та монтажі такої системи гарантує надійний захист та спокій для дітей, персоналу та відвідувачів освітніх закладів. Регулярне технічне обслуговування та перевірка працездатності всіх елементів аварійного освітлення – запорука його ефективного функціонування у разі потреби.

Пропонується виконати розрахунок аварійного освітлення за допомогою установки блоків аварійного живлення (БАЗ) у деякі світильники робочого освітлення. Це рішення допоможе заощадити кошти та простір.

Розрахунок аварійного освітлення провадимо за аналогією з розрахунком робочого освітлення.

Наприклад візьмемо розрахунок приміщення під номером 16 на плані.

Розміри $A \times B \times H = 8,38 \times 5,87 \times 3 \text{ м}$.

Висота робочої поверхні $h_p = 0,8 \text{ м}$, висоту підвісу аварійного освітлення приймаємо $h_c = 0 \text{ м}$.

Розрахуємо h :

$$h = 3 - 0,8 - 0 = 2,2 \text{ м.}$$

$$L_A = 3,5 \text{ м.}$$

Кількість світильників у ряді приймаємо рівним 1.

Відстань від стіни до світильника:

Приймаємо відстань між рядами $L_B = 3 \text{ м.}$ $L_A/L_B = 3,52/3 = 1,17 < 1,5.$

Кількість рядів:

$$n_B = \frac{5,87}{9} \approx 1$$

Відстань від крайнього ряду до стіни

$$l_A = \frac{5,87 - 9 \cdot (1-1)}{2} = 2,94 \text{ м.}$$

Загальна кількість світильників:

$$N = n_A \cdot n_B = 1 \cdot 1 = 1 \text{ шт.}$$

$$i = \frac{8,38 \cdot 5,87}{2,2 \cdot (8,38 + 5,87)} = 1,57$$

Визначимо коефіцієнта використання світлового потоку світлодіодного світильника $\eta = 0,75.$

Мінімально допустима освітленість становить 5% від нормованої освітленості робочого освітлення:

$$E_m = 15 \text{ лк}$$

Світловий потік від одного світильника, необхідний створення норми освітленості

Тоді світловий потік:

$$\Phi = \frac{15 \cdot 1,1 \cdot 8,38 \cdot 5,87 \cdot 1,1}{1 \cdot 0,75} = 1190 \text{ лм.}$$

Встановлюємо в одну лампу блок аварійного живлення LTN БАП LED (20–60 Вт).

Фактичний світловий потік, що створюється прийнятою кількістю світильників:

$$\Phi_\phi = 1 \cdot 4200 = 4200 \text{ лм}$$

Порівнюємо фактичне значення світлового потоку із загальним необхідним світловим потоком:

$$\Delta\Phi_{\%} = \frac{4200 - 1190}{1190} \cdot 100\% = 252,82\%$$

Відхилення становить 252,82% від мінімальної освітленості та задовольняє вимоги.

Світлотехнічний розрахунок аварійного освітлення для інших приміщень наведено в таблиці 2.5

Таблиця 2.3 – Світлотехнічний розрахунок аварійного освітлення

№ на плані	A, м	B, м	H, м	h, м	L _a	L _с	N	i	E _H	K _с	Φ	Φ _л	ΔΦ
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	13.47	8.47	3	2.2	0.8	1	6.74	10	4.24	1605.23	3600	224.27%	13.47
2	14.14	5.07	3	2.2	0.8	1	7.07	25	2.54	2745.08	4500	163.93%	14.14
3	2.96	1.93	3	2.2	0.8	1	1.48	10	0.97	192.01	3600	1874.87%	2.96
4	2.98	2.69	3	2.2	0.8	1	1.49	15	1.35	338.36	3600	1063.96%	2.98
5	15.35	2.63	3	2.2	0.8	1	7.68	10	1.32	814.14	3000	368.49%	15.35
6	8.38	5.87	3	2.2	0.8	1	4.19	15	2.94	1190.41	4200	352.82%	8.38
7	8.4	6.1	3	2.2	0.8	1	4.20	15	3.05	1240.01	4200	338.71%	8.4
8	8.52	6.07	3	2.2	0.8	1	4.26	15	3.04	1251.54	4200	335.59%	8.52
9	6.06	3.63	3	2.2	0.8	1	3.03	15	1.82	665.43	3600	541.00%	6.06
10	3	2.84	3	2.2	0.8	1	1.50	15	1.42	322.16	3000	931.21%	3
11	2.19	3.03	3	2.2	0.8	1	1.10	10	1.52	186.73	3600	1927.96%	2.19
12	5.97	2.85	3	2.2	0.8	1	2.99	15	1.43	541.78	3600	664.48%	5.97
13	5.85	5.98	3	2.2	0.8	1	2.93	15	2.99	920.21	4500	489.02%	5.85
14	3.3	2.9	3	2.2	0.8	1	1.65	15	1.45	361.87	3600	994.84%	3.3
15	2.9	2.58	3	2.2	0.8	1	1.45	15	1.29	315.81	3000	949.94%	2.9
16	7.74	2.73	3	2.2	0.8	1	3.87	10	1.37	448.55	2400	535.05%	7.74
17	8.41	5.98	3	2.2	0.8	1	4.21	15	2.99	1217.06	4200	345.09%	8.41
18	5.98	2.75	3	2.2	0.8	1	2.99	15	1.38	523.64	2800	534.72%	5.98
19	5.98	5.78	3	2.2	0.8	1	2.99	15	2.89	909.19	4500	494.94%	5.98
20	1.64	0.98	3	2.2	0.8	1	0.82	10	0.49	54.02	1000	1851.17%	1.64
21	10.74	5.89	3	2.2	0.8	1	5.37	10	2.95	968.90	3000	309.63%	10.74
22	26.5	2.74	3	2.2	0.8	2	8.75	10	1.37	686.39	3600	524.48%	26.5
23	5.36	3.95	3	2.2	0.8	1	2.68	10	1.98	426.97	2000	468.42%	5.36
24	13.47	8.47	3	2.2	0.8	1	6.74	10	4.24	1605.23	3600	224.27%	13.47

продовження таблиці 2.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
25	14.14	5.07	3	2.2	0.8	1	7.07	25	2.54	2745.08	4500	163.93%	14.14
26	2.96	1.93	3	2.2	0.8	1	1.48	10	0.97	192.01	3600	1874.87%	2.96
27	2.98	2.69	3	2.2	0.8	1	1.49	15	1.35	338.36	3600	1063.96%	2.98
28	15.35	2.63	3	2.2	0.8	1	7.68	10	1.32	814.14	3000	368.49%	15.35
29	8.38	5.87	3	2.2	0.8	1	4.19	15	2.94	1190.41	4200	352.82%	8.38
30	8.4	6.1	3	2.2	0.8	1	4.20	15	3.05	1240.01	4200	338.71%	8.4
31	8.52	6.07	3	2.2	0.8	1	4.26	15	3.04	1251.54	4200	335.59%	8.52
32	6.06	3.63	3	2.2	0.8	1	3.03	15	1.82	665.43	3600	541.00%	6.06
33	3	2.84	3	2.2	0.8	1	1.50	15	1.42	322.16	3000	931.21%	3
34	2.19	3.03	3	2.2	0.8	1	1.10	10	1.52	186.73	3600	1927.96%	2.19
35	5.97	2.85	3	2.2	0.8	1	2.99	15	1.43	541.78	3600	664.48%	5.97
36	5.85	5.98	3	2.2	0.8	1	2.93	15	2.99	920.21	4500	489.02%	5.85
37	3.3	2.9	3	2.2	0.8	1	1.65	15	1.45	361.87	3600	994.84%	3.3
38	2.9	2.58	3	2.2	0.8	1	1.45	15	1.29	315.81	3000	949.94%	2.9
39	7.74	2.73	3	2.2	0.8	1	3.87	10	1.37	448.55	2400	535.05%	7.74
40	8.41	5.98	3	2.2	0.8	1	4.21	15	2.99	1217.06	4200	345.09%	8.41
41	5.98	2.75	3	2.2	0.8	1	2.99	15	1.38	523.64	2800	534.72%	5.98
42	5.98	5.78	3	2.2	0.8	1	2.99	15	2.89	909.19	4500	494.94%	5.98
43	1.64	0.98	3	2.2	0.8	1	0.82	10	0.49	54.02	1000	1851.17%	1.64
44	10.74	5.89	3	2.2	0.8	1	5.37	10	2.95	968.90	3000	309.63%	10.74
45	26.5	2.74	3	2.2	0.8	2	8.75	10	1.37	686.39	3600	524.48%	26.5
46	5.36	3.95	3	2.2	0.8	1	2.68	10	1.98	426.97	2000	468.42%	5.36
47	13.47	8.47	3	2.2	0.8	1	6.74	10	4.24	1605.23	3600	224.27%	13.47
48	14.14	5.07	3	2.2	0.8	1	7.07	25	2.54	2745.08	4500	163.93%	14.14
49	2.96	1.93	3	2.2	0.8	1	1.48	10	0.97	192.01	3600	1874.87%	2.96
50	6.26	5.56	3	2.2	0.8	1	3.13	10	2.78	610.36	3000	491.51%	6.26
51	8.23	6.55	3	2.2	0.8	1	4.12	15	3.28	1238.48	4200	339.12%	8.23
52	9.24	8.2	3	2.2	0.8	1	4.62	15	4.10	1656.85	3600	217.28%	9.24
53	10.82	5.86	3	2.2	0.8	1	5.41	25	2.93	2427.86	4200	172.99%	10.82
54	8.38	5.87	3	2.2	0.8	1	4.19	15	2.94	1190.41	4200	352.82%	8.38
55	8.41	6.04	3	2.2	0.8	1	4.21	15	3.02	1229.27	4200	341.67%	8.41
56	7.43	6.04	3	2.2	0.8	1	3.72	15	3.02	1086.03	3600	331.48%	7.43
57	8.88	6	3	2.2	0.8	1	4.44	15	3.00	1224.09	4200	343.11%	8.88
58	2.82	1.25	3	2.2	0.8	1	1.41	10	0.63	118.48	2400	2025.67%	2.82
59	2.97	2.36	3	2.2	0.8	1	1.49	15	1.18	295.85	3000	1014.02%	2.97
60	2.87	1.18	3	2.2	0.8	1	1.44	15	0.59	170.74	3600	2108.46%	2.87

продовження таблиці 2.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
61	2.87	1.16	3	2.2	0.8	1	1.44	15	0.58	167.85	3600	2144.81%	2.87
62	2.87	1.33	3	2.2	0.8	1	1.44	10	0.67	128.30	2800	2182.44%	2.87
63	2.97	2.63	3	2.2	0.8	1	1.49	15	1.32	329.70	3000	909.92%	2.97
64	5.96	3.18	3	2.2	0.8	1	2.98	15	1.59	603.50	3000	497.10%	5.96
65	8.38	5.98	3	2.2	0.8	1	4.19	15	2.99	1212.72	4200	346.33%	8.38
66	7.74	2.73	3	2.2	0.8	1	3.87	10	1.37	448.55	4200	936.34%	7.74
67	8.4	6.02	3	2.2	0.8	1	4.20	15	3.01	1223.75	4200	343.21%	8.4
68	11.48	5.99	3	2.2	0.8	1	5.74	15	3.00	1579.86	4200	265.85%	11.48
69	55.38	2.74	3	2.2	0.8	5	9.69	10	1.37	532.19	3600	676.45%	55.38
70	6.26	5.56	3	2.2	0.8	1	3.13	10	2.78	610.36	3000	491.51%	6.26
71	8.23	6.55	3	2.2	0.8	1	4.12	15	3.28	1238.48	4200	339.12%	8.23
72	9.24	8.2	3	2.2	0.8	1	4.62	15	4.10	1656.85	3600	217.28%	9.24
73	10.82	5.86	3	2.2	0.8	1	5.41	25	2.93	2427.86	4200	172.99%	10.82
74	8.38	5.87	3	2.2	0.8	1	4.19	15	2.94	1190.41	4200	352.82%	8.38
75	8.41	6.04	3	2.2	0.8	1	4.21	15	3.02	1229.27	4200	341.67%	8.41
76	7.43	6.04	3	2.2	0.8	1	3.72	15	3.02	1086.03	3600	331.48%	7.43
77	8.88	6	3	2.2	0.8	1	4.44	15	3.00	1224.09	4200	343.11%	8.88
78	2.82	1.25	3	2.2	0.8	1	1.41	10	0.63	118.48	2400	2025.67%	2.82
79	2.97	2.36	3	2.2	0.8	1	1.49	15	1.18	295.85	3000	1014.02%	2.97
80	2.87	1.18	3	2.2	0.8	1	1.44	15	0.59	170.74	3600	2108.46%	2.87
81	2.87	1.16	3	2.2	0.8	1	1.44	15	0.58	167.85	3600	2144.81%	2.87
82	2.87	1.33	3	2.2	0.8	1	1.44	10	0.67	128.30	2800	2182.44%	2.87

У розрахунку аварійного освітлення було встановлено блоки аварійного живлення LTN БАП LED (20-60 Вт) у кількості 47 штук.

2.5 Висновки до розділу 2

У розрахунковому розділі проаналізовано систему електропостачання та освітлення навчального закладу, визначено структуру електроспоживання та встановлено, що значна його частка (близько 50%) припадає на освітлювальну мережу. Виявлено, що існуюча система освітлення, побудована на лампах

розжарювання та люмінесцентних джерелах світла, не відповідає сучасним вимогам енергоефективності та нормативним показникам освітленості.

Виконано світлотехнічний розрахунок методом коефіцієнта використання світлового потоку, за результатами якого визначено оптимальну кількість та параметри світлодіодних світильників. Отримані значення освітленості знаходяться в допустимих межах, що підтверджує правильність прийнятих рішень . Запропоновано заміну існуючих джерел світла на LED-світильники, що дозволяє підвищити енергоефективність, знизити експлуатаційні витрати та покращити умови зорової роботи.

Також виконано розрахунок аварійного освітлення із застосуванням блоків аварійного живлення, що забезпечує необхідний рівень освітленості у разі відключення основного живлення. Запропоновані рішення відповідають вимогам безпеки та забезпечують надійну роботу системи освітлення.

3 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Розрахунок мережі живлення

Розрахунок потужності освітлювального навантаження приміщень зробимо шляхом коефіцієнта попиту. Розрахункову активну потужність освітлювального навантаження визначимо на прикладі приміщення під номером 16 на плані за такою формулою:

$$P_{розр} = N \cdot P_{ном} \cdot K_c \cdot K_{ПРА}$$

де N – кількість світильників у приміщенні, шт;

$P_{ном}$ – номінальна потужність одного світильника, Вт;

K_c – коефіцієнт попиту, для приміщень школи з харчоблоком приймається рівним $K_c = 0,95$

$K_{ПРА}$ – коефіцієнт втрат у пускорегулюючій апаратурі, для світлодіодних світильників приймаємо $K_{ПРА} = 1$. Тоді:

$$P_{розр} = 6 \cdot 48 \cdot 0,95 \cdot 1 = 274 \text{ Вт}.$$

Потім визначаємо розрахункову реактивну потужність освітлювального навантаження:

$$Q_{розр} = P_{розр} \cdot \sqrt{\frac{1}{\cos^2 \varphi} - 1}$$

де $\cos \varphi = 0,96$ для світильників.

$$Q_{розр} = 274 \cdot \sqrt{\frac{1}{0,96^2} - 1} = 79,8 \text{ ВАр}$$

Повна потужність освітлювального навантаження:

$$S_{розр} = \sqrt{P_{розр}^2 + Q_{розр}^2};$$

$$S_{розр} = \sqrt{284,0^2 + 79,80^2} = 285 \text{ ВА}$$

Таблиця 3.1 – Розрахункові навантаження/

№	Кількість	$P_{ном}$	$P_{розр}$	$Q_{розр}$	$S_{розр}$
1	3	2	4	5	6
1	1	20	19	5.54	19.79
2	9	36	308	89.78	320.63
3	3	36	103	29.93	106.88
4	12	45	513	149.63	534.38
5	1	36	34	9.98	35.63
6	2	48	91	26.60	95.00
7	9	64	547	159.60	570.00
8	4	45	171	49.88	178.13
9	2	36	68	19.95	71.25
10	1	36	34	9.98	35.63
11	1	36	34	9.98	35.63
12	2	36	68	19.95	71.25
13	2	36	68	19.95	71.25
14	2	36	68	19.95	71.25
15	5	36	171	49.88	178.13
16	6	48	274	79.80	285.00
17	6	48	274	79.80	285.00
18	6	48	274	79.80	285.00
19	1	36	34	9.98	35.63
20	1	36	34	9.98	35.63
21	4	36	137	39.90	142.50
22	2	36	68	19.95	71.25
23	1	36	34	9.98	35.63
24	1	36	34	9.98	35.63
25	1	48	46	13.30	47.50
26	1	12	11	3.33	11.88
27	1	12	11	3.33	11.88
28	2	36	68	19.95	71.25
29	1	36	34	9.98	35.63
30	3	36	103	29.93	106.88
31	2	20	38	11.08	39.58
32	4	45	171	49.88	178.13
33	2	36	68	19.95	71.25
34	2	36	68	19.95	71.25

продовження таблиці 3.1

1	3	2	4	5	6
35	4	36	137	39.90	142.50
36	6	48	274	79.80	285.00
37	4	36	137	39.90	142.50
38	4	36	137	39.90	142.50
39	1	36	34	9.98	35.63
40	1	36	34	9.98	35.63
41	1	12	11	3.33	11.88
42	1	45	43	12.47	44.53
43	2	36	68	19.95	71.25
44	1	36	34	9.98	35.63
45	4	45	171	49.88	178.13
46	1	12	11	3.33	11.88
47	6	36	205	59.85	213.75
48	8	36	274	79.80	285.00
49	4	20	76	22.17	79.17
50	4	36	137	39.90	142.50
51	6	48	274	79.80	285.00
52	3	48	137	39.90	142.50
53	9	36	308	89.78	320.63
54	2	48	91	26.60	95.00
55	1	48	46	13.30	47.50
56	2	36	68	19.95	71.25
57	1	36	34	9.98	35.63
58	1	36	34	9.98	35.63
59	12	48	547	159.60	570.00
60	6	48	274	79.80	285.00
61	6	48	274	79.80	285.00
62	2	20	38	11.08	39.58
63	6	36	205	59.85	213.75
64	6	48	274	79.80	285.00
65	1	36	34	9.98	35.63
66	2	36	68	19.95	71.25
67	1	36	34	9.98	35.63
68	1	36	34	9.98	35.63
69	1	36	34	9.98	35.63
70	2	36	68	19.95	71.25

продовження таблиці 3.1

1	3	2	4	5	6
71	4	36	137	39.90	142.50
72	6	48	274	79.80	285.00
73	2	48	91	26.60	95.00
74	6	48	274	79.80	285.00
75	2	36	68	19.95	71.25
76	8	48	365	106.40	380.00
77	4	36	137	39.90	142.50
78	1	20	19	5.54	19.79
79	2	36	68	19.95	71.25
80	10	36	342	99.75	356.25
81	2	36	68	19.95	71.25
82	16	36	547	159.60	570.00
83	8	36	274	79.80	285.00
84	7	36	239	69.83	249.38
85	8	20	152	44.33	158.33
86	1	36	34	9.98	35.63
87	12	20	228	66.50	237.50
88	2	36	68	19.95	71.25
89	1	36	34	9.98	35.63
90	3	36	103	29.93	106.88
91	5	36	171	49.88	178.13
92	4	36	137	39.90	142.50
93	4	36	137	39.90	142.50
94	4	36	137	39.90	142.50
95	2	36	68	19.95	71.25
96	2	36	68	19.95	71.25
97	6	36	205	59.85	213.75
98	4	36	137	39.90	142.50
99	8	36	274	79.80	285.00
100	4	36	137	39.90	142.50
101	22	20	418	121.92	435.42
Разом			14 152	4 128	14 742

3.2 Електротехнічний розрахунок освітлення

Для світильників загального освітлення застосовується напруга 230 В. Електропостачання робочого та аварійного освітлення виконується самостійними лініями головного щита освітлення, підключеного до шин ВРП. При цьому електроенергія від розподільного пристрою передається лініями живлення на групові освітлювальні щитки. Живлення джерел світла здійснюється від групових щитків груповими лініями.

Завданням є оптимальний розподіл світильників по фазах, вибір освітлювального щита і кабелю живлення. Лампи розподіляються по фазах таким чином, щоб сумарне навантаження фаз було рівномірним. Навантаження можна вважати рівномірним, якщо моменти навантажень відрізняються незначно.

Момент навантажень для робочого освітлення:

$$M = \sum P_i \cdot l_l$$

де P_i – потужність лампи;

l_l – відстань від джерела живлення до лампи.

$$\sum M_A \approx \sum M_B \approx \sum M_C$$

Таке розміщення дозволяє вирівнювати навантаження фазами.

У джерела світла повинен підтримуватись необхідний рівень напруги.

Втрати напруги:

$$\Delta U_{\text{доп}} = \frac{M_{\text{max}}}{C \cdot F}$$

де M_{max} – максимальний момент навантаження.

Звідси:

$$F = \frac{M_l}{C \cdot \Delta U_{\text{доп}}}$$

де M_l – момент навантаження лінії,

C – коефіцієнт схеми освітлення, $C = 7,4$, для алюмінієвого дроту в мережі живлення 380/230 В;

F – переріз провідника.

Допустиме падіння напруги для освітлювальної мережі – 2,5% .

Момент навантаження у лінії Мл можна визначити за формулою:

$$M_{л} = n \cdot P_i \cdot \left(l_0 + \frac{l \cdot (n-1)}{2} \right)$$

Розрахункове навантаження освітлювальної мережі визначається за формулою:

$$P_{po} = N \cdot P_{ном} \cdot K_c \cdot K_{ПРА}$$

де N – кількість світильників, шт;

$P_{ном}$ – номінальна потужність одного світильника, Вт;

K_c - коефіцієнт попиту, для виробничих приміщень приймається рівним $K_c = 0,95$;

$K_{ПРА}$ - коефіцієнт втрат у пускорегулюючій апаратурі, для світлодіодних світильників приймаємо $K_{ПРА} = 1$.

Нагрів провідників викликається проходженням по них струму $I_{p.o}$, значення якого при рівномірному навантаженні фаз для трифазної мережі:

$$I_{p.o} = \frac{P_{po}}{\sqrt{3} \cdot U_{л} \cdot \cos \varphi}$$

де $U_{л}$ – напруга на лампах.

Перетин кабелю від ВРУ до щита освітлення визначаємо за формулою:

$$F = \frac{\sum M + \sum \alpha \cdot M_i}{C \cdot \Delta U_{дон}}$$

де $\sum M$ – момент навантаження лінії живлення;

α – коефіцієнт приведення моментів, $\alpha = 1,85$;

$\sum M_i$ – сума моментів усіх відгалужень, що живляться даною ділянкою;

$C = 7,4$.

Проведемо розподіл за фазами. Отримаємо 4 лінії трифазного навантаження. Використовуватимемо чотирипровідні кабелі АВВГ від щита освітлення (ЩО) до ламп.

Визначимо моменти навантажень. Відстань між світильниками робочого висвітлення $l = 3,52 \text{ м}$; потужність одного світильника $P = 48 \text{ Вт} = 0,048 \text{ кВт}$.

Ряд №1 (верхній на генплані). Відстань від щитка освітлення до першого світильника $l_0 = 37,35 \text{ м}$ (з урахуванням підвісу ЩО на висоті 1.5 м).

Визначимо момент навантаження для робочого освітлення:

$$M_A = l_0 \cdot P = 37,35 \cdot 0,048 = 1,79 \text{ кВт} \cdot \text{м};$$

$$M_B = (l_0 + l) \cdot P = 40,87 \cdot 0,048 = 1,96 \text{ кВт} \cdot \text{м};$$

$$M_C = (l_0 + 2l) \cdot P = 44,39 \cdot 0,048 = 2,13 \text{ кВт} \cdot \text{м}.$$

Ряд №2. $l_0 = 40,35 \text{ м}$.

$$M_A = l_0 \cdot P = (40,35 + 3,52) \cdot 0,048 = 2,11 \text{ кВт} \cdot \text{м};$$

$$M_B = (l_0 + l) \cdot P = (40,35 + 2 \cdot 3,52) \cdot 0,048 = 2,27 \text{ кВт} \cdot \text{м};$$

$$M_C = (l_0 + 2l) \cdot P = 40,35 \cdot 0,048 = 1,93 \text{ кВт} \cdot \text{м}.$$

Значення результуючих моментів кожної фази:

$$\sum M_A = 2,11 + 1,79 = 3,9 \text{ кВт} \cdot \text{м};$$

$$\sum M_B = 2,27 + 1,97 = 4,24 \text{ кВт} \cdot \text{м};$$

$$\sum M_C = 1,93 + 2,13 = 4,06 \text{ кВт} \cdot \text{м}.$$

Визначимо моменти навантаження у лініях:

$$M_1 = 6 \cdot 0,2 \left(20,65 + \frac{7,2 (6-1)}{2} \right) = 46,38 \text{ кВт} \cdot \text{м};$$

$$M_2 = 6 \cdot 0,2 \left(14,84 + \frac{7,2 (6-1)}{2} \right) = 39,41 \text{ кВт} \cdot \text{м}.$$

Визначимо перерізи провідників ліній:

Лінія №1:

$$F_1 = \frac{46,38}{7,4 \cdot 2,5} = 2,51 \text{ мм}^2$$

Лінія №2:

$$F_2 = \frac{39,41}{7,4 \cdot 2,5} = 2,13 \text{ мм}^2.$$

Приймаємо переріз кабелів $F = 2,5 \text{ мм}^2$.

Визначимо розрахункове навантаження та розрахунковий струм для однієї групи світильників:

$$P_{po} = 6 \cdot 0,2 \cdot 0,95 \cdot 1 = 1,14 \text{ кВт};$$

$$I_{po} = \frac{1,14}{\sqrt{3} \cdot 0,22 \cdot 0,96} = 3,12 \text{ А}.$$

Отриманий розрахунковий струм вбирається у допустимий струм кабелю АБВГ 4×4 , $I_{дон} = 25 \text{ А}$.

Визначимо втрати напруги у лініях з урахуванням обраного кабелю:

$$\Delta U_1 = \frac{46,38}{7,4 \cdot 4} = 1,57 \%$$

$$\Delta U_1 = \frac{39,44}{7,4 \cdot 4} = 1,33 \%$$

Зробимо вибір кабелю від КТП до щита освітлення. Довжина кабелю 36,19 м. Момент навантаження живильної лінії

$$\sum M = 1,14 \cdot 4 \cdot 36,19 = 165,03 \text{ кВт} \cdot \text{м}$$

Визначимо перетин кабелю:

$$F = \frac{165,03 + 1,85 \cdot (46,38 + 39,41 + 35,4 + 42,41)}{44 \cdot 2,5} = 4,25 \text{ мм}^2$$

Вибираємо кабель АБВГ із найближчим перетином 6 мм^2 з допустимим струмом 34 А. Розрахунковий струм даного кабелю:

$$I_p = \frac{4 \cdot 1,14}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,96} = 7,22 \text{ А}.$$

Отриманий струм менший від допустимого. Перевіримо вибраний переріз по втраті напруги:

$$\Delta U = \frac{46,38 + 39,41 + 35,40 + 42,41}{7,4 \cdot 6} = 0,62\%$$

Вибираємо ЩО типу *ОЩВ* – 6 на 6 приєднань із ввідним вимикачем на номінальний струм 63 А та вимикачами відхідних ліній на 16 А.

Ввідний автоматичний вимикач: *ВА47* – 29 $I_{н.а} = 63 \text{ А}$; / $I_{н.р} = 8 \text{ А}$.

Таблиця 3.2 – Вибір кабелів

№ Приміщення	N	L_a	L_b	l_0	$P_{ном}$	M	$F_{розр}$	$F_{виб}$	ΔU	I_p	P_p
1	1	3.5	3	18.15	20	0.39	0.02	2.5	0.02	0.05	19
2	9	3.5	3	11.5	36	8.67	0.47	2.5	0.47	0.28	102.6
3	3	3.5	3	19.73	36	2.64	0.14	2.5	0.14	0.28	102.6
4	12	2.5	2.5	50.79	45	35.26	1.91	2.5	1.91	0.70	256.5
5	1	3.5	3	48.79	36	1.80	0.10	2.5	0.10	0.09	34.2
6	2	3.5	3	53.75	48	5.45	0.29	2.5	0.29	0.25	91.2
7	9	4	3	57.8	64	36.46	1.97	2.5	1.97	0.50	182.4
8	4	2.5	4	37.32	45	7.53	0.41	2.5	0.41	0.23	85.5
9	2	3.5	3	35.8	36	2.79	0.15	2.5	0.15	0.19	68.4
10	1	3.5	3	34.6	36	1.29	0.07	2.5	0.07	0.09	34.2
11	1	3.5	3	36.74	36	1.37	0.07	2.5	0.07	0.09	34.2
12	2	3.5	3	33.28	36	2.61	0.14	2.5	0.14	0.19	68.4
13	2	2	2	36.45	36	2.73	0.15	2.5	0.15	0.19	68.4
14	2	2.5	2.5	32.57	36	2.49	0.13	2.5	0.13	0.19	68.4
15	5	3.2	3	23.6	36	5.60	0.30	2.5	0.30	0.47	171
16	6	3	3	37.35	48	13.20	0.71	2.5	0.71	0.37	136.8
17	6	3	3	30.39	48	11.20	0.61	2.5	0.61	0.37	136.8

3.3 Розробка заходів енергозбереження в умовах України

В умовах сучасного розвитку енергетичного сектору України питання енергозбереження набуває особливої актуальності. Це зумовлено низкою факторів, серед яких: зростання вартості енергоресурсів, залежність від імпорتنих енергоносіїв, зношеність енергетичної інфраструктури, а також необхідність виконання міжнародних зобов'язань у сфері енергоефективності та декарбонізації економіки. У зв'язку з цим енергозбереження розглядається

не лише як технічне завдання, а як складова державної політики забезпечення енергетичної безпеки.

В Україні нормативно-правове забезпечення у сфері енергоефективності формується на основі Закону України «Про енергозбереження», Закону України «Про енергетичну ефективність», а також низки підзаконних актів і державних програм. Важливу роль відіграє інтеграція з європейським енергетичним ринком, що передбачає впровадження директив ЄС у сфері енергоефективності та підвищення стандартів споживання енергії.

Згідно з оцінками експертів, потенціал енергозбереження в Україні залишається значним, особливо у сфері житлово-комунального господарства, промисловості та електроенергетики. Значна частина електричних мереж та обладнання експлуатується понад нормативний строк, що призводить до підвищених втрат електроенергії та зниження загальної ефективності системи електропостачання.

Найбільший потенціал енергозбереження зосереджений саме у сфері кінцевого споживання електроенергії. Основними напрямками підвищення енергоефективності на цьому рівні є:

- усунення нераціонального використання електроенергії (робота обладнання в холостому режимі, освітлення порожніх приміщень);
- впровадження енергоефективного обладнання (LED-освітлення, сучасні електродвигуни, побутова техніка класу A++);
- оптимізація режимів роботи електроспоживачів;
- зменшення втрат електроенергії за рахунок своєчасного технічного обслуговування та модернізації обладнання.

Особливе місце серед заходів енергозбереження займає модернізація систем освітлення, яка є відносно простою у реалізації та має швидкий економічний ефект. Впровадження автоматизованих систем керування освітленням дозволяє значно знизити споживання електроенергії без зниження рівня комфорту для користувачів.

Одним із ефективних рішень є використання різних типів датчиків для автоматичного керування освітленням. До основних з них належать:

- датчики руху, які реагують на переміщення об'єктів у зоні дії та забезпечують вмикання освітлення лише за наявності людини;
- датчики освітленості, що контролюють рівень природного світла і вмикають штучне освітлення лише при його недостатності;
- датчики присутності, які поєднують функції виявлення руху та теплового випромінювання, що дозволяє більш точно визначати перебування людей у приміщенні.

У більшості адміністративних, навчальних та виробничих приміщень освітлення досі керується механічними вимикачами. Це призводить до значних втрат електроенергії через людський фактор — освітлення часто залишається увімкненим навіть за відсутності людей.

З метою підвищення енергоефективності доцільним є впровадження систем автоматичного керування освітленням із використанням датчиків присутності. Такі системи дозволяють:

- зменшити споживання електроенергії;
- продовжити термін служби освітлювального обладнання;
- знизити експлуатаційні витрати;
- підвищити рівень автоматизації об'єкта.

Сучасні пристрої автоматизації є доступними, простими у встановленні та сумісними з більшістю існуючих освітлювальних систем. Вони можуть монтуватися як у нових, так і в діючих електроустановках без суттєвих змін конструкції системи.

Розрахункове споживання електроенергії на освітлення приміщень з тимчасовим перебуванням людей становить, $\text{кВт} \cdot \text{год}$:

$$W_{\text{лн}} = N \cdot P_{\text{лн}} \cdot \tau \cdot z \cdot 10^{-3}$$

де N – кількість ламп у місцях з тимчасовим перебуванням людей, шт.;

$P_{\text{лн}}$ – потужність лампи, Вт;

τ – час роботи системи освітлення, год.;

z – кількість робочих днів на рік.

Встановлення датчиків руху та присутності дозволить скоротити кількість годин роботи системи освітлення до 1-2 годин. Заміна ламп розжарювання на компактні люмінесцентні лампи дозволить знизити використання електроенергії на роботу освітлювальних установок.

Витрата електроенергії на освітлення місць з тимчасовим перебуванням людей після впровадження системи автоматичного регулювання та заміни ламп становитиме, $кВт \cdot год$:

$$W_{лн} = N \cdot P_{cd} \cdot \tau_a \cdot z \cdot 10^{-3}$$

де P_{cd} [Вт] – потужність світлодіодної лампи;

τ_a – час роботи системи освітлення після встановлення датчиків руху та присутності, год.

Економія електроенергії при впровадженні заходів дорівнюватиме, $кВт \cdot год$:

$$\Delta W = W_{лр} - W_{cd}$$

Річна економія в грошах складе, тис. руб.:

$$\Delta E = \Delta W \cdot T_{ee} \cdot 10^{-3}$$

де T_{ee} – тариф на електричну енергію $грн./кВт \cdot год$.

Згідно з результатами наукових досліджень [14], впровадження датчиків присутності у системах освітлення дозволяє знизити споживання електроенергії в межах 15–70% залежно від типу приміщення та режиму його використання. Зокрема, у коридорах та допоміжних приміщеннях економія може досягати 30–70%, тоді як у навчальних аудиторіях — у середньому 20–40%.

3.4 Аналіз споживання освітлювальної мережі

У ході роботи було помітно знижено споживання електроенергії освітлювальною мережею.

На рис. 3.1 представлено діаграму споживання електроенергії до заміни освітлювальної мережі

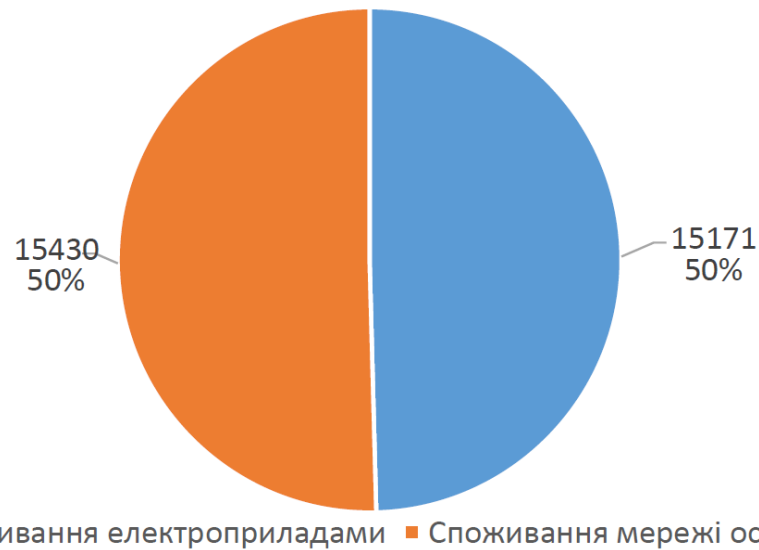


Рисунок 3.1 – Споживання електроенергії до впровадження заходів.

На рис. 3.2 представлена діаграма споживання електроенергії після заміни світильників.

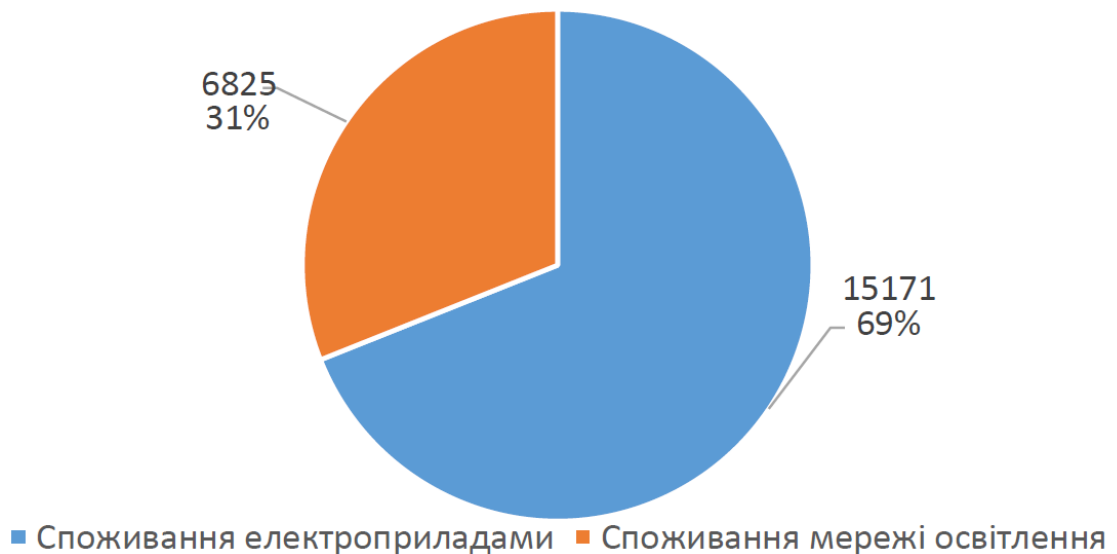


Рисунок 3.2 – Споживання електроенергії після заміни світильників

На рис. 3.3 представлено діаграму споживання електроенергії після встановлення датчиків присутності

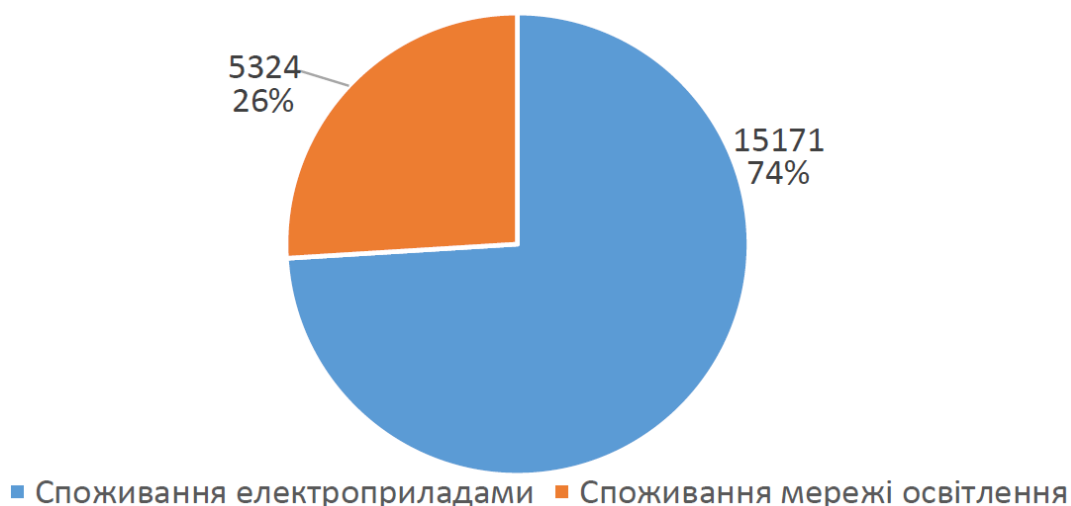


Рисунок 3.3 – Споживання електроенергії після встановлення датчиків присутності

Після впровадження нової освітлювальної мережі вдалося скоротити споживання електроенергії на 33%, що є значним результатом проведеної роботи, також після реконструкції знизилася витрати на електроенергію.

3.2 Висновки до розділу 3

Виконано розрахунок освітлювального навантаження та визначено параметри системи електропостачання об'єкта. На основі розрахунків встановлено активні, реактивні та повні потужності, що дозволило сформувати структуру електроспоживання .

У процесі електротехнічного розрахунку здійснено розподіл навантаження по фазах, визначено перерізи кабельних ліній та перевірено їх за умовами допустимого струму і втрат напруги. Обране електрообладнання забезпечує надійну та ефективну роботу освітлювальної мережі .

Обґрунтовано впровадження енергоефективних рішень, зокрема використання LED-освітлення та датчиків присутності. Встановлено, що їх застосування дозволяє знизити споживання електроенергії приблизно на 35%.

Таким чином, запропоновані технічні рішення забезпечують підвищення енергоефективності та надійності системи освітлення.

4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Аналіз небезпечних і шкідливих факторів при експлуатації енергоощадної системи освітлення в загальноосвітній школі

Експлуатація енергоощадної системи освітлення в умовах загальноосвітнього навчального закладу характеризується сукупністю небезпечних і шкідливих факторів, які формуються як технічними особливостями електроустановок, так і специфікою їх використання. На відміну від промислових об'єктів, у школах переважає тривале перебування людей, у тому числі дітей, що мають підвищену чутливість до факторів середовища, зокрема до параметрів освітлення та електромагнітного впливу. Це обумовлює необхідність більш жорсткого контролю умов експлуатації освітлювальних систем.

Провідним небезпечним фактором є ураження електричним струмом, яке може виникати як у результаті прямого дотику до струмоведучих частин, так і внаслідок непрямого дотику при появі напруги на металевих корпусах обладнання. Причинами таких ситуацій можуть бути старіння ізоляції кабельних ліній, механічні пошкодження провідників, порушення контактних з'єднань або дефекти електрообладнання. В умовах навчального закладу ризик додатково зростає через можливі порушення правил експлуатації та недостатній контроль доступу до електротехнічних пристроїв. Особливо небезпечними є приміщення з підвищеною вологістю, де зменшується опір тіла людини і підвищується ймовірність ураження струмом.

Суттєвим шкідливим фактором є якість освітлення, яка визначається рівнем освітленості, рівномірністю розподілу світлового потоку, коефіцієнтом пульсації та спектральним складом світла. Відхилення цих параметрів від нормативних значень, встановлених, зокрема, ДБН В.2.5-28:2018 та санітарними нормами, може призводити до погіршення зорової функції, швидкої втомлюваності, зниження концентрації уваги та загальної

працездатності учнів. При застосуванні неякісних світлодіодних джерел світла можливе виникнення ефекту прихованого мерехтіння, що негативно впливає на нервову систему, навіть якщо візуально воно не сприймається.

Окрему увагу необхідно приділяти електромагнітному впливу, який формується електронними драйверами світлодіодних світильників та іншими елементами системи живлення. При великій кількості одночасно працюючих пристроїв можливе накопичення електромагнітного фону, що в окремих випадках може впливати на чутливе електронне обладнання або створювати додаткове навантаження на організм людини.

Теплові фактори також відіграють важливу роль у забезпеченні безпеки. Незважаючи на те, що світлодіодні світильники мають нижче тепловиділення, ніж традиційні лампи, порушення умов їх охолодження або неправильний монтаж можуть призводити до локального перегріву. Це спричиняє прискорене старіння компонентів, деградацію ізоляції та збільшення ймовірності відмов. Додатково перегрів контактних з'єднань і кабельних ліній при перевантаженні може стати причиною аварійних режимів.

Пожежна небезпека є одним із ключових факторів, що супроводжують експлуатацію електроустановок. Короткі замикання, перевантаження, іскріння у місцях неякісних контактів або використання обладнання, що не відповідає стандартам, можуть призводити до займання. У навчальних закладах наслідки таких ситуацій є особливо критичними через обмежений час на евакуацію та необхідність організованого виведення великої кількості людей.

Крім технічних факторів, слід враховувати і експлуатаційні аспекти, пов'язані з людським фактором. Неправильне користування вимикачами, самовільне втручання в електромережу або ігнорування правил техніки безпеки можуть стати причиною аварійних ситуацій. Водночас впровадження енергоощадних технологій, зокрема автоматизованого керування освітленням, частково знижує вплив цього фактору.

Таким чином, аналіз небезпечних і шкідливих факторів свідчить про необхідність комплексного підходу до проектування та експлуатації

енергоощадних систем освітлення. Лише врахування електротехнічних, світлотехнічних, пожежних та експлуатаційних аспектів дозволяє забезпечити безпечні та комфортні умови перебування учнів і персоналу в навчальному закладі.

4.2 Заходи з забезпечення електробезпеки та охорони праці при впровадженні енергоощадної системи освітлення

Забезпечення електробезпеки та належного рівня охорони праці при впровадженні енергоощадної системи освітлення є обов'язковою умовою її ефективної експлуатації та відповідності нормативним вимогам. Сучасні підходи до проектування електроустановок передбачають поєднання технічних рішень і організаційних заходів, спрямованих на попередження аварійних ситуацій та мінімізацію ризику травматизму.

Технічні заходи базуються на принципі багаторівневого захисту. Перший рівень забезпечується якісною ізоляцією струмоведучих частин, яка повинна відповідати умовам експлуатації та забезпечувати стійкість до механічних і теплових впливів. Другий рівень реалізується через систему захисного заземлення або занулення, що забезпечує відведення небезпечної напруги з металевих корпусів обладнання у випадку пошкодження ізоляції. Третій рівень захисту пов'язаний із застосуванням автоматичних вимикачів і пристроїв захисного відключення, які забезпечують швидке відключення живлення при виникненні струмів короткого замикання або витoku.

Важливим аспектом є правильний вибір параметрів захисних апаратів. Невідповідність їх характеристик реальним умовам роботи може призвести або до хибних спрацювань, або до несвоєчасного відключення пошкодженої ділянки мережі. Тому розрахунок струмів навантаження та короткого замикання є необхідною умовою забезпечення надійної роботи системи.

Особливу увагу необхідно приділити конструктивному виконанню електромережі. Розподільчі щити повинні розміщуватися у місцях, недоступних

для сторонніх осіб, мати відповідний ступінь захисту та бути оснащеними засобами блокування. Кабельні лінії повинні прокладатися з урахуванням механічного захисту, впливу зовнішнього середовища та вимог пожежної безпеки. Використання негорючих або малогорючих матеріалів для ізоляції кабелів дозволяє знизити ризик поширення пожежі.

Важливим напрямом є вибір енергоефективного та безпечного освітлювального обладнання. Світлодіодні світильники, що застосовуються в сучасних системах освітлення, повинні відповідати вимогам щодо рівня освітленості, коефіцієнта пульсації та кольорової температури. Використання якісних драйверів забезпечує стабільність роботи світильників та знижує електромагнітні завади. Крім того, менше тепловиділення таких світильників сприяє підвищенню пожежної безпеки.

Організаційні заходи охорони праці передбачають створення системи контролю за станом електрообладнання та дотриманням правил його експлуатації. До них належать проведення первинних і періодичних інструктажів з техніки безпеки, навчання персоналу, який обслуговує електроустановки, а також організація планово-попереджувальних оглядів і ремонтів. Регулярна діагностика стану електромереж дозволяє своєчасно виявляти дефекти та запобігати розвитку аварійних ситуацій.

Впровадження автоматизованих систем керування освітленням є важливим елементом сучасних енергоощадних технологій. Використання датчиків присутності та освітленості дозволяє оптимізувати режим роботи освітлювальних установок, зменшити тривалість їх використання та, відповідно, знизити навантаження на електромережу. Це не лише забезпечує економію електроенергії, але й підвищує надійність системи та зменшує ймовірність виникнення аварій.

Значну роль відіграє також дотримання вимог нормативних документів, зокрема Правил улаштування електроустановок (ПУЕ), ДБН та стандартів з охорони праці. Їх виконання забезпечує відповідність системи встановленим критеріям безпеки та є обов'язковою умовою введення об'єкта в експлуатацію.

Таким чином, реалізація комплексу технічних і організаційних заходів дозволяє створити безпечну та ефективну систему освітлення, яка відповідає сучасним вимогам енергоефективності та охорони праці. Забезпечення належного рівня безпеки є невід'ємною складовою успішного функціонування енергоощадних технологій у навчальних закладах.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі вирішено задачу підвищення енергоефективності системи освітлення загальноосвітнього навчального закладу шляхом її модернізації на основі сучасних технічних рішень. Проведений аналіз існуючого стану освітлювальної мережі показав, що вона не відповідає сучасним вимогам енергоефективності, надійності та безпеки, що зумовлено використанням морально та фізично застарілих джерел світла, зокрема ламп розжарювання та люмінесцентних світильників.

У процесі дослідження встановлено, що освітлювальна система формує значну частку загального електроспоживання об'єкта, що підтверджує актуальність впровадження енергоощадних заходів. На основі світлотехнічного розрахунку визначено оптимальні параметри освітлення приміщень, підбрано типи та кількість світлодіодних світильників, які забезпечують нормативний рівень освітленості та відповідність санітарно-гігієнічним вимогам.

У роботі запропоновано комплекс заходів з модернізації системи освітлення, що включає заміну традиційних джерел світла на енергоефективні LED-світильники та впровадження автоматизованих засобів керування освітленням, зокрема датчиків присутності, що дозволяє мінімізувати непродуктивні витрати електроенергії та підвищити загальну енергоефективність об'єкта.

Окрему увагу приділено питанням безпеки, зокрема передбачено організацію аварійного та евакуаційного освітлення, що забезпечує безпечну експлуатацію будівлі та можливість евакуації людей у разі відключення електропостачання.

Таким чином, поставлена мета роботи досягнута, а розроблені технічні рішення можуть бути використані при модернізації систем освітлення інших навчальних закладів та об'єктів бюджетної сфери.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Актуальні проблеми сучасної енергетики: матеріали ІХ Всеукраїнської наук.практ. інтернет-конф. студентів, аспірантів і молодих вчених (22 травня 2025 р., м. Хмельницький) / за наук. ред. В.В. Курака, О.В. Андронові. – Херсон: Книжкове видавництво ФОП Вишемирський В.С., 2025. – 214 с.
2. Причини переходу на світлодіодне освітлення | Новини | FURNISET - Фурнітура та матеріали для виробництва меблів. Каталог продукції FURNISET. URL: https://furniset.com.ua/nw192-prichini-perehodu-na-svitlodiodne-osvitlennya?srsId=AfmBOorxO91gbDM6wxNdhhcVsguBQS_XxEPffb9xNGztsut7IMGNgEb (дата звернення: 14.04.2026).
3. Гнатюк Л. Р. Кучеренко Ю. Е. Особливості освітлення загальноосвітніх шкіл. Проблеми розвитку міського середовища. Вип. 1 (13). 2015. С. 103–111.
4. Природне та штучне освітлення. ДБН В.2.5-28:2018 [Електронний ресурс] // Державне підприємство "Укрархбудінформ". – 2018. – Режим доступу: <http://www.minregion.gov.ua/wp-content/uploads/2018/12/V2528-1.pdf>
5. ДСТУ EN 12464-1:2016. Світло та освітлення. Освітлення робочих місць. Частина 1. Робочі місця в приміщеннях. – Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2016. – 79 с.
6. Яким має бути освітлення в навчальному закладі [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ledtest.vestum.ua/uk/study/jakim-maie-buti-osvitlennja-v-navchalnomu-zakladi/> – Дата звернення: 14.04.2026.
7. Ключовий стандарт освітленості та як йому відповідати [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://5watt.ua/uk/blog/statti/klyuchovij-standart-osvitlenosti-ta-yak-jomu-vidpovidati> – Дата звернення: 14.04.2026.
8. Правила улаштування електроустановок. - Видання офіційне. Міненерговугілля України. - Х. : Видавництво "Форт", 2017. - 760 с.

9. Вуличне освітлення : ДСУ10В. ВАТРА - освітлення професійно!. URL: <https://vatra.ua/ukr/street-lighting/dsu10v-VATRA> (дата звернення: 02.10.2025).

10. Терешкевич, Л. Б. Освітлення промислових споруд та житлових будинків : навчальний посібник [Електронний ресурс] / Л. Б. Терешкевич, О. В. Бабенко. – Вінниця : ВНТУ, 2022. – 123 с.

11. Orobchuk, B., Sysak, I., Babiuk, S., Rajba, T., Karpinski, M., Klos-Witkowska, A., ... & Gancarczyk, J. (2017, September). Development of simulator automated dispatch control system for implementation in learning process. In 2017 9th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS) (Vol. 1, pp. 210-214). IEEE.

12. Бабюк С. М. Автоматичні системи комерційного обліку електроенергії для побутових споживачів / С. М. Бабюк, В. О. Рудянин, Д. Ю. Соловко // Матеріали XII Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“, 6-7 грудня 2023 року. — Т. : ФОП Паляниця В. А., 2023. — С. 212–213.

13. Буняк, О., Бабюк, С., & Сисак, І. (2019). Інтелектуальний пристрій автоматичного регулювання параметрів електомережі. Матеріали IV Міжнародної науково-технічної конференції „Теоретичні та прикладні аспекти радіотехніки, приладобудування і комп’ютерних технологій “присвячена 80-ти річчю з дня народження професора ЯІ Проця, 268-270.

14. Шабовта М.Ю. Оцінка економічної ефективності модернізації штучного освітлення навчальних закладів // Електротехнічні та комп’ютерні системи. – 2021. – № 34 (110).

15. Оробчук, Б. та Сисак, І. та Бабюк, С. (2024) Розробка системи освітлення для навчальної лабораторії на базі WI-FI контролера. In: Міжнародна науково-практична конференція «Інноваційні технології в світлотехніці та електроенергетиці», 16–17 травня 2024 р., м. Харків.

16. Bohdan Orobchuk, Oleh Buniak, Ivan Sysak, Serhii Babiuk, Ihor Bodnarchuk, Vadym Koval (2024) Development of Software for the Implementation of Automated Reserve Input Modes Operation. 2nd International Workshop on Computer Information Technologies in Industry 4.0 (CITI 2023). Ternopil, Ukraine, June 12-14, Vol. 3742, Pages 316-336

17. Бабюк С. М. Вплив відхилення напруги в мережі 0,4 кВ: причини, наслідки та шляхи вирішення проблеми / С. М. Бабюк, С. О. Задорожний, М. П. Красножон // Матеріали XII Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“, 6-7 грудня 2023 року. — Т. : ФОП Паляниця В. А., 2023. — С. 210–211.

18. Гандзюк М.П., Желібо Є.П., Халімовський М.О. Основи охорони праці: Підручник. 5-е вид. / За ред. М.П. Гандзюка. - К.: Каравела, 2011. - 384 с.

19. Методичний посібник для здобувачів освітнього ступеня «магістр» всіх спеціальностей денної та заочної (дистанційної) форм навчання «БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ» / В.С. Стручок –Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., –156 с.

20. Тарасенко М.Г., Коваль В.П., Буняк О.А., Мовчан Л.Т. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра для здобувачів першого рівня вищої освіти за ОПП Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка/ В.П. Коваль, М.Г. Тарасенко, О.А. Буняк, Л.Т. Мовчан – Тернопіль: ТНТУ, 2024. – 50 с.