

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА

НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ,
ІНФОРМАЦІЙНОЇ
ТА ТРАНСПОРТНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

КАФЕДРА СВІТЛОТЕХНІКИ І ДЖЕРЕЛ СВІТЛА

**РОЗРОБКА СИСТЕМИ ОСВІТЛЕННЯ
ЗАГАЛЬНООСВІТНЬОЇ ШКОЛИ З УРАХУВАННЯМ
НЕВІЗУАЛЬНОЇ ДІЇ СВІТЛА**

Бакалаврська кваліфікаційна робота

Здобувач:

Оксана РАПТАНОВА

гр. СДС 2022–1

Керівник:

Олена ЛЯШЕНКО

к.т.н., доцент

Харків 2026

**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ МІСЬКОГО
ГОСПОДАРСТВА імені О. М. Бекетова**

**Навчально-науковий інститут енергетичної, інформаційної та транспортної
інфраструктури**

Кафедра світлотехніки і джерел світла

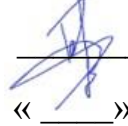
Освітній рівень бакалавр

Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Освітня програма Світлотехніка та дизайн світлового середовища

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри СДС

 Віталій ГЕРАСИМЕНКО
« ____ » _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ

до бакалаврської кваліфікаційної роботи

Раптанова Оксана Андріївна

1. Тема роботи: Розробка системи освітлення загальноосвітньої школи з
урахуванням невізуальної дії світла

керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи:

Ляшенко О.М., к.т.н., доцент кафедри СДС

затверджені наказом університету

2. Строк подання студентом бакалаврської кваліфікаційної роботи:
16.06.2026 р.

3. Вихідні дані до бакалаврської кваліфікаційної роботи

Матеріали переддипломної практики, завдання від керівника бакалаврської
кваліфікаційної роботи.

4. Зміст бакалаврської кваліфікаційної роботи (перелік питань, які потрібно
розробити):

4.1. Аналітична частина (огляд, аналіз, оцінка): аналіз невізуальних ефектів
світла, огляд актуальності тематики.

4.2. Світлотехнічна частина (вибір параметрів, метод розрахунку, алгоритм
керування, програмне забезпечення) вибір світлових приладів, моделювання
системи освітлення, світлотехнічний розрахунок.

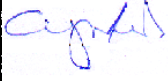
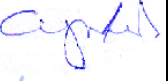
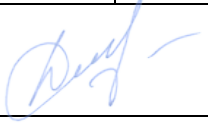
4.3. Електротехнічна частина (напрями удосконалення, результати
проведеної роботи): проєктування і розрахунок мережі електропостачання
загальноосвітнього навчального закладу.

4.4. Охорона праці.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових слайдів):

Актуальність. Мета. Завдання. 1 Аналітична частина. 2 Світлотехнічна частина. 3 Електротехнічна частина. 4 Охорона праці. Висновки.

6. Консультанти розділів бакалаврської кваліфікаційної роботи:

Розділ	Ім'я, прізвище та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Основна частина	Олена ЛЯШЕНКО, доцент		
Охорона праці	Яків СЕРІКОВ, доцент		
Антиплагіат	Олена ДІДЕНКО, ст. викладач		
Нормоконтроль	Роман ВОРОНОВ, доцент		

7. Дата видачі завдання 11.05.2026

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів бакалаврської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітична частина	01.05.26 – 05.05.26	
2	Світлотехнічна частина	06.05.26 – 12.05.26	
3	Аналіз результатів і рекомендації щодо застосування	13.05.26 – 28.05.26	
4	Охорона праці	29.06.26 – 09.06.26	
5	Оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу	10.06.26 – 16.06.26	
6	Підготовка доповіді та презентації	10.06.26 – 16.06.26	

Здобувач



Оксана РАПТАНОВА

Керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи



Олена ЛЯШЕНКО

АНОТАЦІЯ

У даній бакалаврській кваліфікаційній роботі розглядається розробка системи освітлення загальноосвітньої школи з урахуванням невізуальної дії світла.

У першій частині роботи розглянуто актуальність тематики, проведено аналіз літератури на тему невізуального впливу світла, зокрема на стан здобувачів освіти.

У другій частині були виконані світлотехнічні розрахунки. Були обрані світлові прилади, визначена нормована освітленість для кожного приміщення. Зроблено моделювання загальноосвітньої школи в DIALux.

Третя частина роботи присвячена електротехнічним розрахункам. Електротехнічна частина включає визначення напруги живлення, джерела живлення. Зроблено вибір схеми живлення, спосіб прокладання кабелів.

У розділі «Охорона праці» розроблені заходи захисту у надзвичайних ситуаціях. Розглянуто пожежну безпеку, електробезпеку, долікарську допомогу при нещасних випадках.

Основними результатами бакалаврської кваліфікаційної роботи є розробка системи освітлення загальноосвітньої школи з урахуванням невізуальної дії світла.

Результати роботи апробовані: О. Ляшенко, О. Раптанова
Формування якісного світло-колірного середовища навчальних закладів з урахуванням невізуальної дії світла / Ляшенко О., Раптанова О. // III Міжнародна науково-практична конференція «Інноваційні технології в світлотехніці та електроенергетиці», Харків, 15-16 травня 2026 року. С. 169-170.

Ключові слова: система освітлення, навчальні заклади, невізуальний вплив світла, світлодіодні світильники.

Загальний обсяг бакалаврської кваліфікаційної роботи становить:
сторінок – 66; формул – 11; рисунків – 5; таблиць – 8; літературних джерел – 24, слайдів – 13.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	10
1.1. Принципи проектування	10
1.2. Актуальність	11
1.3. Невізуальний вплив світла	11
1.4. Природне освітлення	13
1.5. Вибір колірної температури	14
2 СВІТЛОТЕХНІЧНА ЧАСТИНА	18
2.1. Аналіз зорових задач	18
2.2. Вибір системи освітлення	19
2.3. Вибір нормованих значень освітленості	20
2.4. Вибір коефіцієнта запасу відповідно до типу джерел світла і умов в приміщеннях	21
2.5. Критерії вибору джерел світла	22
2.6. Аналіз переваг і недоліків існуючих типів джерел світла	22
2.7. Вибір світлових приладів	24
2.8. Світлотехнічний розрахунок	26
2.9. Розрахунок показника дискомфорту.....	27
2.10. Розрахунок циліндричної освітленості	29
2.11. Визначення коефіцієнта пульсації	30
2.12. Оцінка невізуального впливу системи освітлення в освітньому закладі	33
3 ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНА ЧАСТИНА	37
3.1. Вибір напруги та джерел живлення	37
3.2. Вибір схеми живлення	38
3.3. Вибір кабелів та проводів	41
3.4. Визначення місць розташування щитків освітлення	42
3.5. Вимикачі та розетки	43
3.6. Електротехнічний розрахунок	44

	7
3.7. Вибір апаратів захисту	48
4 ОХОРОНА ПРАЦІ	52
4.1. Задачі в галузі охорони праці	52
4.2. Опис робіт, що виконуються в світлотехнічній проєктно-дослідницькій лабораторії	53
4.3. Виявлення небезпечних і шкідливих факторів	54
4.4. Розробка заходів і засобів захисту з охорони праці	56
4.5. Забезпечення пожежної безпеки	57
4.6. Електробезпека у світлотехнічній проєктно-дослідницькій лабораторії	58
4.7. Долікарська допомога потерпілим при нещасних випадках	60
4.8. Висновки за розділом.....	61
ВИСНОВКИ.....	62
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	63

ВСТУП

Сучасна система освітлення загальноосвітніх навчальних закладів відіграє важливу роль не лише у забезпеченні необхідного рівня видимості для навчального процесу, а й у формуванні комфортного та здорового середовища. Традиційний підхід до проєктування освітлення здебільшого базується на візуальних параметрах – рівні освітленості, рівномірності розподілу світлового потоку, відсутності засліплення тощо. Проте сучасні дослідження доводять, що світло має також невізуальну дію на організм людини, впливаючи на циркадні ритми, рівень активності, концентрацію уваги, емоційний стан і загальну працездатність.

Актуальність розробки системи освітлення загальноосвітньої школи з урахуванням невізуальної дії світла зумовлена необхідністю створення навчального середовища, яке відповідає сучасним вимогам енергоефективності, ергономіки та збереження здоров'я учнів. Особливо важливим це є для дітей та підлітків, оскільки їхній організм чутливий до змін світлового режиму, а тривале перебування в приміщеннях із недостатньо якісним освітленням може негативно впливати на самопочуття, увагу та навчальну продуктивність.

Використання сучасних світлодіодних систем освітлення з можливістю регулювання колірної температури, інтенсивності та спектрального складу світла дозволяє адаптувати освітлення до різних етапів навчального дня. Це створює умови для підтримання природних біологічних ритмів людини, підвищення комфорту перебування у навчальних приміщеннях та зменшення негативного впливу штучного освітлення.

Таким чином, розробка системи освітлення загальноосвітньої школи з урахуванням невізуальної дії світла є актуальним напрямом, спрямованим на створення безпечних і сприятливих умов для навчання та розвитку учнів.

Метою роботи є дослідження впливу характеристик штучного освітлення (рівня освітленості, колірної температури, спектрального складу та

режимів роботи світильників) на функціональний стан людини, аналіз сучасних технологій освітлення та розробка проєктних рішень, що враховують потреби навчального середовища й біологічні ритми.

Об'єктом роботи є світлодіодна освітлювальна установка загальноосвітньої школи, призначена для забезпечення необхідних умов освітлення навчальних приміщень відповідно до сучасних вимог до якості освітлення.

Предметом роботи є світлотехнічні параметри світлодіодних світильників та їхній вплив на формування світлового середовища в загальноосвітній школі з урахуванням невізуальної дії світла на організм людини. Особлива увага приділяється можливості керування параметрами освітлення (рівнем освітленості, колірною температурою, режимами роботи) з урахуванням не лише зорового сприйняття, а й невізуальної дії світла на організм людини, зокрема на працездатність, концентрацію уваги та циркадні ритми.

Основні задачі роботи:

1. Провести аналіз літературних джерел на тему невізуального впливу освітлення.
2. Обрати джерела світла, обґрунтувати вибір.
3. Виконати світлотехнічний розрахунок системи освітлення, перевірити відповідність системи нормативним вимогам.
4. Виконати електротехнічні розрахунки.
5. Розробити заходи з охорони праці та електробезпеки.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Принципи проєктування систем освітлення навчальних закладів

Проектування систем освітлення суспільно-адміністративних будівель базується на забезпеченні комфортних, безпечних та економічних умов для роботи і перебування людей.

Система освітлення повинна забезпечувати необхідну освітленість робочих місць, враховувати призначення приміщення і не створювати надмірної яскравості або затемнення, щоб забезпечити нормальну зорову роботу учнів і викладачів для збереження здоров'я та підвищення працездатності.

Освітлення повинно відповідати будівельним та санітарним нормам для кожного типу приміщень. Значення освітленості повинні відповідати державно-будівельним нормам для кожного приміщення, щоб забезпечити комфортне читання, письмо та роботу з навчальними матеріалами.

У навчальних приміщеннях особливо важливе природне світло. Тому при проєктуванні враховують орієнтацію вікон, площу світлових прорізів, коефіцієнт природної освітленості і глибину приміщення. Також потрібно враховувати захист від прямих сонячних променів. Зазвичай світло у класах повинно падати зліва від учнів. Світло має рівномірно розподілятися по всьому приміщенню без різких тіней і затемнених зон. Для того, щоб світло розподілялося рівномірно, світильники розміщують рівними рядами, використовують світильники з широким світлорозподілом, при проєктуванні враховують висоту стелі.

Освітлення не повинно викликати засліплення або втому очей. Тому зазвичай застосовують матові плафони або антивідблискові світильники і правильно розташовують світильники відносно робочих місць. Особливо важливо уникати відблисків на дошках, моніторах та лабораторному обладнанні.

1.2 Актуальність

При достатньому перебуванні людини на відкритому просторі для досягнення рівня мелатоніну до вечора ймовірно можливо забезпечити достатній невізуальний вплив за рахунок тільки денного освітлення, однак і в такому випадку необхідно враховувати спектральний розподіл потужності системи штучного освітлення і необхідність зменшення щонайменше за три години до сну меланопічної освітленості до 10 лк. Однак зважаючи на значний час, який проводять школярі в навчальних закладах і короткий світловий день в осінньо-зимовий період в умовах помірного клімату забезпечення достатнього невізуального впливу саме штучним освітленням є ефективним інструментом для створення збалансованого світло-колірного середовища для підтримки здоров'я здобувачів освіти [8-9].

Для проєктування світлодіодного інтегрального освітлення навчального закладу з урахуванням технічних, економічних і екологічних вимог необхідно при виборі світлових приладів враховувати їх спектральний розподіл потужності та застосовувати застосунки для визначення меланопічної ефективності освітлювальної системи або формувати світлове рішення із використанням світильників провідних виробників світлотехнічних виробів, в яких реалізовані технології забезпечення достатнього невізуального впливу [8-9].

1.3 Невізуальний вплив світла

Вимоги щодо характеристик світлового середовища загально-освітніх навчальних закладів, особливо для початкових класів, в яких тривалий час перебувають діти з несформованим зоровим апаратом, в умовах реалізації програм сталого розвитку залишаються достатньо жорсткими. Зважаючи на вразливість очей дітей і значної тривалості перебування їх в навчальних закладах, а також значного впливу оточення на психо-емоційний стан і здоров'я в цілому. Серед вимог, що регламентуються чинними галузевими

нормами, є такі: високий рівень горизонтальної освітленості; високий коефіцієнт природного освітлення; низький рівень показника дискомфорту; низький рівень коефіцієнта пульсації; достатній рівень циліндричної освітленості; високий коефіцієнт передавання кольору; прийнятна колірна температура. Ці вимоги по'язані з візуальним впливом світлового середовища і не враховують його невізуальну дію, що активно досліджується останні десятиліття. Завдяки широкому діапазону характеристик сучасних світлодіодних джерел випромінення і світильників, а також ефективним комп'ютерним методам проєктування освітлювальних систем є можливість формування такого світлового рішення, що відповідає вимогам щодо високої енергоефективності, надійності і тривалості роботи, створення світлового середовища з кількісними і якісними параметрами відповідно до чинних норм. Однак особливу увагу в контексті створення well-being lighting необхідно приділити ще й незоровому впливу освітлення, яке Міжнародною комісією з освітлення було сформульоване як «інтегральне освітлення». Цей термін описує залежність інтенсивності довжин хвиль видимого діапазону 480-490 нм на фізичні процеси в організмі людини, по'язані з циклами активності і відпочинку [8-9].

Знання про вплив світла на здоров'я, поведінку та добробут людини швидко розвиваються, як і інтерес до застосування цих знань. Якісне освітлення забезпечує баланс між добробутом, здоров'ям та функціональністю людини, створюючи цілісне освітлення, яке одночасно враховує енергозбереження, екологічні та архітектурні аспекти [10].

Окрім забезпечення зору, фоторецептори сітківки також з'єднуються з різними ділянками мозку, через які світло запускає біологічні ефекти, що потужно регулюють здоров'я, працездатність і самопочуття людини. Вплив світла викликає швидкі реакції (в діапазоні мілісекунд і секунд) у зіничному рефлексі або в активності мозку. Ці швидкі ефекти можуть включати збільшення частоти серцевих скорочень і зміни активності мозку, виміряні за допомогою електроенцефалограми (ЕЕГ), серед інших фізіологічних

наслідків. При дещо повільнішому часовому проміжку (хвилини, а не мілісекунди) вплив світла може покращити пильність, вплинути на терморегуляцію та полегшити сезонну та несезонну депресію. Світло також є основним синхронізатором біологічного годинника людини. Залежно від часу та інтенсивності опромінення, вплив світла може зміщувати фазу циркадного ритму, діючи на шкалу днів та тижнів, а також регулювати час та якість сну. Світло ввечері та вночі може порушувати сон і викликати гостре пригнічення нічного вивільнення гормону мелатоніну [8-10].

Високий меланопічний EDI (дуже високий рівень освітлення) протягом дня сприяє пильності, циркадному ритму та гарному нічному сну. Перебування на свіжому повітрі протягом дня пов'язане з кращим здоров'ям та самопочуттям, і що вплив денного світла є значним причинним компонентом цих ефектів. Міжнародна комісія також рекомендує не обмежувати денне світло без потреби в приміщеннях. Збільшення денного освітлення в будівлях зазвичай також зменшує споживання енергії на освітлення [8-10].

1.4 Природне освітлення

Природне освітлення може значно впливати на успішність. Успішність учнів на 5–14% вище у класах із природним освітленням, ніж у класах із штучним освітленням. Довгостроковий вплив природного висвітлення на успішність учнів може бути ще більшим [4].

Денне світло – це добре відомий засіб для зменшення споживання електроенергії для освітлення, а також може суттєво сприяти забезпеченню відповідного щоденного освітлення для здоров'я та самопочуття. Краще використання денного світла в будівлях вимагає компромісів з іншими будівельними послугами. Це, зокрема, включає опалення/охолодження та вентиляцію, як для підтримки відповідних умов для різних сенсорних систем, так і для економії енергії. Для реалізації бачення стійких, безпечних,

інклюзивних та сталих будівель, міст та громад, які також відповідально використовують ресурси, знадобляться міждисциплінарні дослідження, що поєднують прикладні дослідження освітлення, поведінкові науки та науки про здоров'я, а також інші професії та дисципліни [8-10].

Нові теми в цій галузі включають потенціал того, що оптичне випромінювання в ближньому інфрачервоному діапазоні може впливати на фізіологію, здоров'я та поведінку без фотодетектора ока, а також вплив ТЛМ на когнітивні функції та нейрофізіологію. Дані з цієї галузі можуть підтвердити рекомендації щодо хороших умов праці для благополуччя працівників та їхньої роботи. Наразі рекомендації та стандарти щодо внутрішнього освітлення зосереджені на освітленні просторів та завдань. Проектування освітлення для індивідуальних, а також групових потреб, ймовірно, буде необхідним для повністю інтегрального освітлення [8-10].

Рекомендується максимально використовувати денне світло (орієнтація класу, лівостороннє освітлення та затінення західних вікон), застосування динамічних LED-систем (змінювані CCT і потужність за часом доби) та сучасних систем керування.

Робочі місця учнів мають орієнтуватися так, щоб природне світло падало з лівого боку. Усі світлопроникні частини, орієнтовані на захід та південний захід, слід обладнати сонцезахисними пристроями (щоб уникнути засліплення).

1.5 Вибір колірної температури

Світло є ключовим чинником, який забезпечує синхронізацію циркадних ритмів людини. Водночас надмірний або неправильно організований вплив штучного освітлення може порушувати природний добовий ритм організму. Концепція людиноорієнтованого освітлення базується на врахуванні потреб людини в природному світлі та передбачає

створення середовища, що відтворює зміни денного освітлення з його візуальним, біологічним і психологічним впливом. Особливого значення це набуває для дітей, організм яких активно розвивається [3].

Для підтримання здорових циркадних ритмів і підвищення ефективності навчання важливо не лише правильно проєктувати освітлювальні системи, а й ретельно обирати джерела світла. Зорова система людини остаточно формується приблизно до 20 років. У дітей менший кут між осями очних ямок, а саме око росте швидше за більшість інших органів і вже до чотирирічного віку майже досягає своїх нормальних розмірів. Найінтенсивніше розвивається рогівка, тоді як інші структури ока ростуть повільніше. Крім того, дитячий кришталік є більш чутливим до ультрафіолетового випромінювання та пропускає до 75 % ультрафіолетових променів [3].

Сучасні цифрові пристрої, зокрема комп'ютери, відеоігри та телевізори, створюють додаткове навантаження на зорову систему дітей. На циркадну ефективність освітлення також впливає просторовий розподіл світла в приміщенні та характеристики загального освітлення.

Медичні дослідження підтверджують значну роль світла у регуляції циркадних ритмів. Центральним регулятором добових біологічних циклів є супрахіазматичні ядра гіпоталамуса, які отримують сигнали від сітківки ока та синхронізують внутрішні ритми організму з 24-годинним циклом зміни дня і ночі. Таким чином, світло чинить не лише візуальний, а й важливий невізуальний біологічний вплив [3].

Учні проводять у школі більше часу, ніж будь-де, крім будинку, що робить її важливим середовищем для їх розвитку. Тому дуже важливо забезпечити високоякісне середовище у приміщеннях шкіл.

Зір є основою когнітивної діяльності дітей, спрямовуючи та контролюючи їх поведінку. Тому високоякісне візуальне середовище в школах, особливо в інтер'єрах, може безпосередньо впливати на те, як діти відчують і сприймають шкільне становище, і може бути тісно пов'язане з їх благополуччям та розвитком.

Рівень освітлення, що сприймається, і освітленість можуть впливати на зоровий комфорт. За даними недавніх досліджень, суб'єктивні оцінки дітьми комфорту при читанні були вищими, коли вони знаходилися в яскраво освітлених класах, щоб захистити їх від короткозорості.

Що стосується штучного освітлення, то з'явилися ознаки того, що освітленість та колірна температура впливають на когнітивні здібності дітей. Висока освітленість та холодна колірна температура можуть позитивно впливати на швидкість обробки інформації, увагу та математичні здібності дітей. У дослідженнях, освітленість та колірна температура впливали на результати учнів у стандартних тестах на увагу та читання. Коли світло було яскравіше, а колірна температура холодною (5800 К, 1060 лк), учні робили менше помилок, особливо перепусток, у стандартному тесті на увагу. У дослідженнях проводили вимірювання до та після різних комбінацій білого освітлення з додаванням синього світла (5500 К, 300 лк) та звичайного освітлення (3000/3500 К, 300 лк). Вони підтвердили, що біле освітлення з переважанням синього кольору сприяло обробці інформації та підвищенню успішності учнів, але не короткочасному кодуванню чи вилученню спогадів. Крім того, успішність учасників значно варіювалася залежно від взаємодії між умовами освітлення та часом [4]. Серед колірних температур найбільш значний позитивний вплив на поведінку зробила температура 3500 К. Порівняно з учнями початкової школи у класах із колірною температурою 3000 К, учні у класах із колірною температурою 4100 К виконували більше завдань. На поведінку учнів у процесі навчання впливало освітлення у класі: вони демонстрували більш активну участь у використанні світлодіодних ламп порівняно з люмінесцентними лампами того ж рівня колірної температури (Pulay and Williamson, 2019).

Бажано впроваджувати регульовані системи (Human-Centric Lighting, HCL). Це можуть бути панелі та лінійні світильники з драйверами 0–10V, DALI або PoE, здатними плавно змінювати світловий потік і CCT. Такі системи (наприклад, Philips Advance FlexTune) дозволяють налаштовувати

графік світла: холодне інтенсивне світло вранці, більш нейтральне в середині дня та тепле до вечора. Усі просторі рекомендується розділити на логічні зони: класи, спортивні зали, бібліотеки, коридори, вчительські. Кожна зона може мати власну систему керування. Наприклад, в коридорах і туалетах (ССТ може бути постійним тепліше) вмикати загальне світло лише при русі людей (датчики присутності). Також можна використовувати датчики освітленості, щоб знижувати інтенсивність освітленості при яскравому денному світлі.

Вибір ламп слід робити так, щоб виключити ультрафіолетове випромінювання та надмірну інфрачервону складову – для запобігання негативним впливам на очі.

2 СВІЛОТЕХНІЧНА ЧАСТИНА

Під час розробки ОУ необхідно враховувати специфіку освітлюваних будівель, а також ознайомитись з номенклатурою наявних елементів ОУ з метою вибору найбільш оптимального проектного рішення освітлювання.

Для забезпечення швидкого і якісного проектування системи освітлення відповідно до діючих галузевих стандартів і сучасних тенденцій доцільно застосовувати існуючі комп'ютерні програми, що дозволяють на основі багатоваріантних розрахунків підібрати найприйнятніше проектне рішення і створити реалістичну візуалізацію освітлюємого приміщення.

Розроблена ОУ повинна забезпечувати комфортне кольорово-світлове середовище, сприяти підвищенню продуктивності праці та зниженню стомлюваності зорового аналізатора. Крім того, установка має бути зручною та безпечною при використанні, енерго- та матеріалоекономічною, органічно вписуватися в інтер'єр. Для створення системи освітлення, яка б задовольняла всім вимогам, необхідно виконувати проектування ОУ, спираючись на аналітичний огляд спеціалізованої літератури, застосовувати сучасні світильники і джерела світла, характеристики яких дозволяли б використання їх в системі з автоматизованим керуванням освітлення [2].

2.1 Аналіз зорових задач

Освітлюємий об'єкт (восьмирічна загальноосвітня школа на 8 класів) за функціональним призначенням належить до групи суспільних будівель. Загальна площа об'єкту, що освітлюється – 582,37 м² (1 поверх).

Облицювання поверхонь приміщень і їх коефіцієнтів відбиття: стіни у навчальних кабінетах мають світлі фарбовані поверхні, без блиску; стеля – фарбована, біла.

Коефіцієнти відбиття: стеля $\rho = 0,7$; підлога $\rho = 0,2$; робочі поверхні

$\rho = 0,5$. Ці значення впливають на коефіцієнт використання світильників, рівень освітленості, відсутність засліплення і комфортність візуальної роботи.

Всі зорові роботи поділяють на розряди А–З залежно від найменшого розміру об'єкта розпізнавання або деталей роботи. Чим менший об'єкт, тим вищий розряд (А – найточніші роботи, З – найменш точні). Також кожний розряд має підрозряди 1, 2 – залежно від тривалості зорової роботи в напрямку зору на робочу поверхню. Наприклад, до розряду А (дуже висока точність) відносяться хімічні та фізичні лабораторії, до розряду Ж відносяться вестибюлі, гардероби.

У приміщеннях суспільних будівель, як правило, слід застосовувати систему загального освітлення. Допускається використання системи комбінованого освітлення в приміщеннях адміністративних будівель, де виконується зорова робота А – В розрядів (кабінети, робочі кімнати, читальні зали бібліотек і т.п.).

Для загального освітлення приміщень слід використовувати лампи з світловою віддачею не менше 55 лм/Вт. Використовування ламп розжарювання допускається для загального освітлення тільки для забезпечення архітектурно-художніх вимог і у вибухонебезпечних приміщеннях. У цілях контролю за енергоспоживанням встановлюються вимоги до максимально допустимої питомої потужності приміщень суспільних будівель розрядів А – В [2].

2.2 Вибір системи освітлення

Сучасні системи освітлення поділяються на три основні групи: лампи розжарювання, газорозрядні джерела світла, та світлодіодні (LED) системи. Кожна з них має характерні властивості, що впливають на якість освітлення, комфорт користувачів та енергозбереження.

Лампи розжарювання та галогенні лампи переважно застосовуються у побутових приміщеннях, декоративному освітленні або як акцентні світильники.

Натрієві лампи високого тиску використовуються у вуличному освітленні.

Металогалогенні лампи пристосовані для великих просторів та високих стель, тому можуть бути застосовані у спортивному залі.

Але найкомфортніші та найенергоефективніші – це світлодіодні системи освітлення. Вони мають низьку пульсацію освітленості, точну кольоропередачу, зниження енергоспоживання до 50–80% та відповідають всім стандартам і нормам [1].

2.3 Вибір нормованих значень освітленості

Нормовані значення освітленості визначають за розрядом і підрозрядом зорової роботи. Згідно нормативним документам визначають висоту робочої площини, на якій забезпечується нормована освітленість. Загальна норма для більшості приміщень – 0,8 м від підлоги (поверхня столів, робочих столів). Для коридорів, рекреацій, спортивних залів, вестибюлів застосовується 0 м. У санітарно-технічних приміщеннях нормованість також забезпечується на рівні підлоги (0 м), оскільки робочої площини немає. Для дошок та інформаційних стендів освітленість нормується на вертикальній площині, розташованій на 1,2–1,4 м над рівнем підлоги [7].

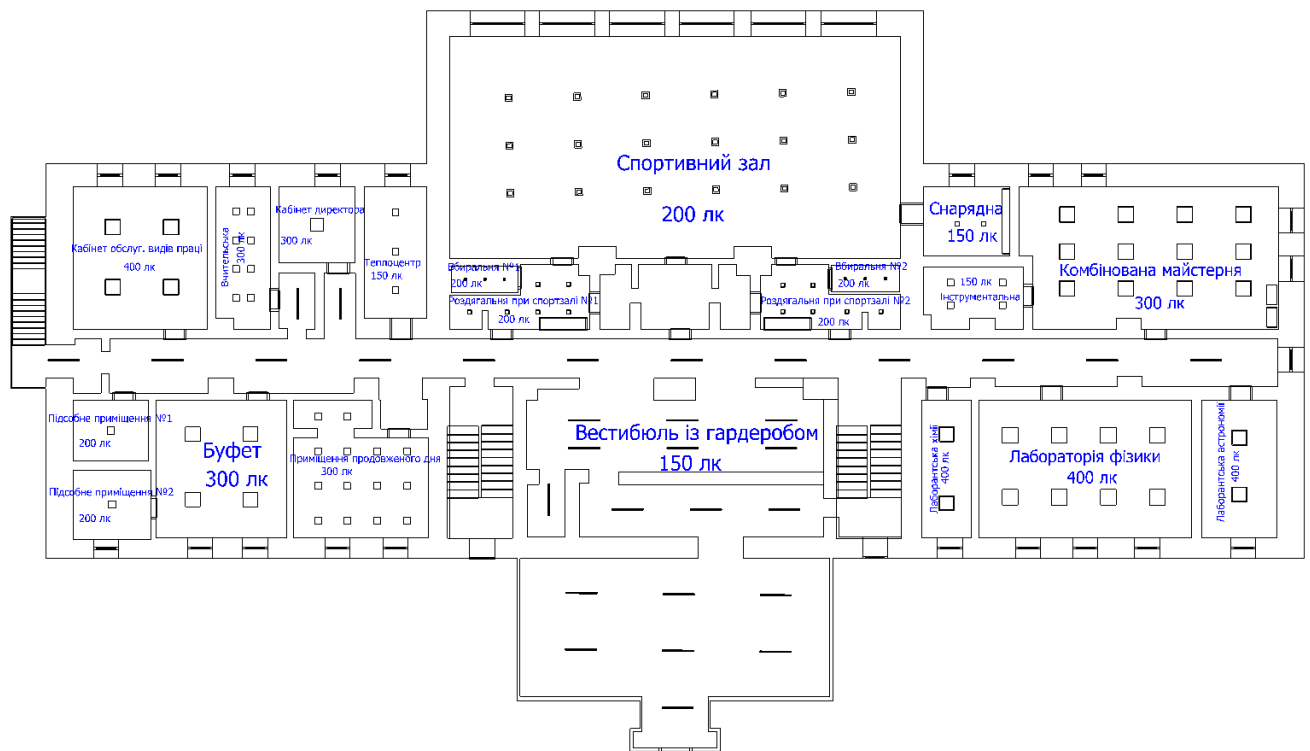


Рисунок 2.1 – План будівлі (1 поверх)

2.4 Вибір коефіцієнта запасу відповідно до типу джерел світла і умов в приміщеннях

Коефіцієнт запасу залежить від типу джерела світла, умов навколишнього середовища та типу світильника. Європейська норма використовує термін Maintenance Factor (MF) – коефіцієнт технічного стану.

Він складається з декількох компонентів: LLMF – зменшення світлового потоку лампи (Lamp Lumen Maintenance Factor); LSF – ламповий ресурс (Lamp Survival Factor); LMF – забруднення світильників (Luminaire

Maintenance Factor); RMF – забруднення приміщення (Room Maintenance Factor).

2.5 Критерії вибору джерел світла

Джерела світла обираються згідно нормативним документам з наступними параметрами: індекс кольоропередачі $R_a \geq 80$; колірна температура: 4000 К для класів, лабораторій, 3000–3500 К – вестибюль та рекреації, 5000 К – спортзали і майстерні; ступінь захисту IP – 20-40 (класи, кабінети, бібліотека), 43-65 (майстерні, душові, техприміщення).

Джерела світла у школах мають відповідати: IEC/EN 62471 – група фотобіологічної безпеки RG0 або RG1 (безпечні або умовно безпечні), відсутність UV випромінення, низький рівень синьої складової (Blue Light Hazard). Забороняється використання ДНаТ, ДРЛ, галогенних ламп у навчальних закладах.

У нормативних документах встановлені вимоги щодо відсутності пульсації світлового потоку: $P \leq 10 \%$ для робочих приміщень (класи, бібліотека, кабінети), $P \leq 20 \%$ для рекреацій, коридорів, $P \leq 5 \%$ – рекомендовано для роботи з моніторами. Обмеження UGR: у класах і бібліотеках $UGR \leq 19$, в коридорах і рекреаціях – $UGR \leq 22$, у спортзалах – $UGR \leq 25$, тому слід вибирати джерела світла із матовими розсіювачами та мікропризмовою оптикою [7].

2.6 Аналіз переваг і недоліків існуючих типів джерел світла

1) Люмінесцентні лампи (можуть застосовуватися лише у другорядних приміщеннях. Для класів – не рекомендовано державними нормами (через пульсацію і ртуть). Переваги: світлова віддача – 70-90 лм/Вт, кольоропередача $R_a = 80$, доступна ціна.

Недоліки: мерехтіння 20–100 % при використанні стандартного ПРА, екологічно небезпечні – містять ртуть, погано працюють при низьких температурах, чутливі до частих увімкнень/вимкнень.

2) Світлодіодні джерела світла (повністю відповідає всім стандартам)

Переваги: найвища енергоефективність – 100-150 лм/Вт, високий індекс кольоропередачі $R_a = 80-95$, майже відсутня пульсація (може бути $<5\%$), що відповідає нормам для шкіл, екологічно безпечні, миттєвий старт, немає мерехтіння, низькі витрати на експлуатацію.

Недоліки: вища ціна (порівняно з люмінесцентними лампами), якість сильно залежить від виробника (можливі фальсифікати), неякісні LED можуть давати синій спектр та мерехтіння $>20\%$.

3) Компактні люмінесцентні лампи (не рекомендовані у школах).
Переваги: енергоефективніші за лампи розжарювання (50–60 лм/Вт), доступна ціна, термін служби (5000–8000 год)

Недоліки: пульсація світла висока (до 50–60 %) – не для навчальних приміщень; містять ртуть; повільний розігрів (1–3 хв); малий спектр, $R_a < 80$, швидко деградують при частих увімкненнях.

4) Газорозрядні лампи ДРЛ, ДНаТ, МГЛ (у школах дозволені тільки у виняткових випадках: технічні кімнати, вуличне освітлення).

Переваги: висока світлова віддача (45–120 лм/Вт). МГЛ мають $R_a = 80-90$.

Недоліки: тривалий час розігріву (3–8 хв), висока пульсація, можлива зміна кольору з часом, потрібні спеціальні ПРА, небажані для критичних зорових задач, важко контролювати блиск, висока температура колби. ДРЛ містять ртуть.

Економічність, якість та зручність експлуатації освітлювальної установки залежить від вибору світильників. Економічність та якість освітлення визначаються їх світлотехнічними характеристиками, надійність та експлуатаційні вимоги – конструктивним виконанням.

Необгрунтований вибір світильника може привести до значного подорожання освітлювальної установки, збільшенню встановленої потужності. Невідповідність конструктивного виконання світильника умовам навколишнього середовища знижує надійність та довговічність

освітлювальної установки, а також може являти собою причину пожежі та вибуху. Вибір світильника визначається світлотехнічною характеристикою світильника, характером навколишнього середовища, економічністю установки.

2.7 Вибір світлових приладів

Світильник повинен забезпечити нормативні значення освітленості. Також важливо, щоб світильники не випромінювали УФ-випромінення. Сучасний LED світильник має відповідати класам А, В або еквівалентним. Світильники повинні мати розсіювач, антивідблискову оптику та не мати видимих «точкових» LED кристалів. Світильник має мати оптичну систему, що знижує сліпучість. Світильники повинні мати якісні LED-драйвери з повним випрямленням, не дешеві імпульсні. Важливо для спортзалів – захист від ударів ($IK > 07$). Також, бажано, щоб драйвер можна було замінити окремо.

Обрані світлові прилади забезпечують нормативне значення освітленості, мають високий ступінь захисту IP у вологих або запилених приміщеннях. Світильники у спортзалі мають високий ступінь захисту від ударів. Всі світлові прилади мають індекс кольоропередачі $Ra \geq 80$. Колірна температура для кожного приміщення була обрана згідно нормативним документам: 4000 К для класів, лабораторій, 3000–3500 К – вестибюль та рекреації, 5000 К – спортзали і майстерні [1-7].

Таблиця 2.1 – Характеристика вибраних світильників

№	Тип СП	Ступінь захисту IP	Світловий потік, лм	Світлова віддача, лм/Вт	Габаритні розміри
1	14FCZ2-60HE-UNV-L940-S-CP187-U	47	4701	97	305 × 1219 × 10
2	42184654	20	1895	65,4	1254 × 45 × 64
3	ERK9068W_RAD416NB	20	6010	139,1	520 × 520 × 50
4	KR952131-9030-WFL	68	293	34,9	95 × 95 × 1
5	4000116X	40	1140	76	168 × 168 × 39
6	CR350B	65	6000	109	595 × 595 × 90
7	6851420559-H1	65	2954	101,9	285 × 285 × 73
8	SXK4007W	20	3399	110,4	290 × 290 × 98
9	21887	66	4965	103,4	596 × 596 × 90
10	TCAT22-30HLx-EDU	48	3555	118,9	585 × 585 × 100
11	AMS L15 WO	65	1148	120,8	270 × 270 × 91
12	V1-R0-90810-10D01-4001540	40	1500	100	186 × 186 × 75
13	GWF1910NA830	65	3301	91,7	620 × 620 × 10
14	628221	65	4550	137,9	620 × 620 × 69

Світильники, які були обрані для навчальних класів мають в спектрі діапазон хвиль 480-490 нм, який має достатню інтенсивність для впливу на фоторецептор ока меланопсин.

2.8 Світлотехнічний розрахунок

Розрахунок ОУ приміщення №8 із використанням методу коефіцієнта використання:

Потрібний сумарний світловий потік світильників у приміщенні:

$$\Phi = \frac{E_n * S * K_z}{\eta}, \quad (2.1)$$

де E_n – нормована освітленість, лк;

S – площа приміщення, м²;

K_z – коефіцієнт запасу;

η – коефіцієнт використання світлового потоку [2].

$$\Phi = \frac{300 * 28,60 * 1,3}{0,785} = 14208,9 \text{ лм}$$

Розрахунок кількості світильників:

$$N = \frac{\Phi}{\Phi_{од}}, \quad (2.2)$$

де N – кількість світильників, шт;

$\Phi_{од}$ – світловий потік одного світильника, лм.

$$N = \frac{14208,9}{3555} = 3,99 \approx 4 \text{ шт}$$

Висота підвісу:

$$h_m = H - h_p, \quad (2.3)$$

де H – висота приміщення, м;

h_p – висота робочої площини, м.

$$h_m = 3,3 - 0,8 = 2,5 \text{ м}$$

Формула індекса приміщення:

$$i = \frac{A \cdot B}{h_m(A+B)}, \quad (2.4)$$

де A – довжина приміщення, м;

B – ширина, м;

h_m – висота підвісу світильника над робочою площиною, м.

$$i = \frac{5,2 \cdot 5,5}{2,5(5,2+5,5)} = 1,06$$

Розрахунок загальної сталої потужності освітлювальної системи об'єкту:

$$P = \frac{\Phi}{\eta}, \quad (2.5)$$

$$P = \frac{14220}{120} = 0,1185 \text{ кВт}$$

2.9 Розрахунок показника дискомфорту

Показник дискомфорту (UGR – Unified Glare Rating) – це стандартизований показник, який оцінює, наскільки світло від світильників викликає зоровий дискомфорт у людини.

UGR оцінює різкість контрасту між яскравими світильниками і темним фоном; положення світильників відносно очей людини; площу, яку світильники займають у полі зору та яскравість навколишніх поверхонь.

Дискомфорт виникає, коли світильник має велику яскравість (кд/м^2) або він знаходиться близько до лінії погляду, або навколо нього темний фон (погано відбиваючі стіни і стеля).

Показник дискомфорту залежить від:

1. Висоти підвішування світильників. Чим нижче світильник – тим більше засліплення
2. Від типу розсіювача. Якщо використовувати матові розсіювачі або мікропризми, показник UGR буде меншим. Якщо скло прозоре – більший UGR
3. Від кольору стін і стелі. Світлі поверхні зменшують контраст, тому буде менший UGR.
4. Розташування робочого місця. Якщо світильники потрапляють у пряму зону погляду – UGR зростає [2].

Перевірковий розрахунок показника дискомфорту для приміщення №5

	Питома споживана потужність	5,81 W/m ²	–	
		1,58 W/m ² /100 lx	–	
Оцінка засліплення ⁽¹⁾	R _{UG, max}	18	≤ 19	✓
Обсяги	Енергоспоживання	[260 - 329] kWh/a	макс. 900 kWh/a	✓
Простір	Питома споживана потужність	5,22 W/m ²	–	
		1,42 W/m ² /100 lx	–	

(1) Базується на прямокутному просторі 5,500 m x 5,350 m та SHR 0,25.

(2) Розраховано з використанням DIN:18599-4.

Профіль користування: Визначені налаштування DIALux (34.2 Стандарт (офісний))

Специфікація світильників

шт.	Виробник	Код виробу	Назва виробу	R _{UG}	P	Φ	Світловіддача
14	Dextra	Amenity Led	AMS L15 WO	18	9,5 W	1148 lm	120,8 lm/W

Рисунок 2.2 – Розрахунок показника дискомфорту в приміщенні №5

Розраховане значення UGR, отримане програмою DIALux: 18.
 Нормативне значення UGR: ≤ 19. Відповідає нормам щодо обмеження засліпленості.

2.10 Розрахунок циліндричної освітленості

Циліндрична освітленість – це показник того, наскільки рівномірно світло освітлює об'єкти навколо людини по колу, наскільки добре освітлені вертикальні поверхні навколо точки в просторі. Вона особливо важлива для комфортного зорового сприйняття людей та безпечної навігації у просторі.

Розрахунок циліндричної освітленості виконують у точці, яка лежить в площині лінії зору на рівні 1,5 м від підлоги й розташована в центрі приміщення. Площиною, яка проходить через розрахункову точку та перпендикулярна до осі кожної лінії, розбивають на частини. Циліндрична освітленість дорівнює сумі освітленостей від кожної з частин, які будуть рівні між собою.

Площиною, яка проходить через контрольну точку (точка розташована у центрі між лініями і лежить у площині лінії зору) та перпендикулярній до осі кожної лінії, розбивають лінії на частини. Циліндрична освітленість у даному випадку дорівнює сумі циліндричних освітленостей від кожної з частин, рівних між собою [1-6].

Перевірковий розрахунок циліндричної освітленості для приміщення №5:

Розрахункові поверхні

Властивості	E	$E_{\min}$	$E_{\max}$	$E/E_{\min}$	$E_{\max}/E_{\min}$	Позначення
Розрахункова поверхня З Перпендикулярна освітленість (адаптивний) Висота: 0.720 m	402 lx	213 lx	472 lx	1.89	2.22	CG3
Розрахункова поверхня З Горизонтальна освітленість Висота: 0.720 m	407 lx	288 lx	469 lx	1.41	1.63	CG3
Розрахункова поверхня З Напівциліндрична освітленість Обертання: 0.0°, Висота: 0.720 m	154 lx	99.5 lx	210 lx	1.55	2.11	CG3
Розрахункова поверхня З Напівсферична освітленість Висота: 0.720 m	269 lx	203 lx	315 lx	1.33	1.55	CG3
Розрахункова поверхня З Вертикальна освітленість Обертання: 0.0°, Висота: 0.720 m	158 lx	92.6 lx	221 lx	1.71	2.39	CG3
Розрахункова поверхня З Циліндрична освітленість Висота: 0.720 m	153 lx	122 lx	191 lx	1.25	1.57	CG3
Розрахункова поверхня З Перпендикулярна освітленість Висота: 0.720 m	407 lx	289 lx	471 lx	1.41	1.63	CG3

Рисунок 2.3 – Циліндрична освітленість

Розраховане значення циліндричної освітленості: 153. Нормативне значення циліндричної освітленості: 100. Розроблена ОУ відповідає нормам щодо забезпечення необхідної насиченості приміщень світлом.

2.11 Визначення коефіцієнта пульсації

Умови виникнення пульсації освітленості пов'язані з тим, як джерело світла та електрична мережа формують світловий потік у часі. Пульсація виникає, коли освітленість не є сталою, а періодично змінюється. Основні умови її появи – відсутнє правильне згладжування в драйвері, є коливання напруги або використовується застарілий чи неякісний світильник.

Пульсація зростає, якщо в LED-драйвері відсутній достатній фільтр; використовується просте імпульсне живлення низької якості; у

люмінесцентних лампах використовується електромагнітний ПРА. Пульсації частіше виникають у натрієвих, металогалогенних та ртутних лампах, світлодіодних світильників із дешевими драйверами, у лампах розжарювання (при коливаннях мережі). Менші пульсації характерні для світлодіодних світильників з якісним драйвером, люмінесцентних ламп з електронним ПРА.

Для забезпечення значення коефіцієнта пульсації освітленості на рівні, нижчому від нормованих значень необхідно використовувати світильники із високоякісними електронними драйверами. Такий тип драйверів має функції згладжування вихідної напруги за рахунок фільтрації на конденсаторах високої ємності, стабілізацію струму на виході, високий коефіцієнт потужності, що мінімізує зміну світлового потоку при коливаннях живлення. При підключенні освітлення до окремої групової лінії, можливе живлення світильників від стабільної електромережі, що виключає пульсації, викликані нестабільністю напруги мережі [1-6].

Таблиця 2.2 – Світлотехнічна відомість

№	Найменування приміщення	Площа, м ²	Н _м , м	Розряд зорової роботи	Умови середовища приміщення	Нормована освітленість	Кількість СП	Якісні характеристик и			Відбиваючі характеристики		
								М	К _п	Е _ц	ρ _п	ρ _{ст}	ρ _{р.п}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	Вестибюль із гардеробом	61,77	3,3	Ж-1	Нормальні	150	41	60	15	50	0,2	0,7	0,5
2	Кабінет директора	9,93	3,3	Б-2	Нормальні	300	1	60	15	100	0,2	0,7	0,5
3	Вбиральня №1, душові при спортзалі	2,87	3,3	Ж-2	Вологі	200	3	60	15	75	0,2	0,7	0,5
4	Вбиральня №2, душові при спортзалі	2,88	3,3	Ж-2	Вологі	200	3	60	15	75	0,2	0,7	0,5

Продовження таблиці 2.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
5	Приміщення продовженого дня	50,76	3,3	Б-2	Нормальні	300	14	40	10	100	0,2	0,7	0,5
6	Вчительська	17,57	3,3	Б-2	Нормальні	300	8	40	10	100	0,2	0,7	0,5
7	Роздягальня при спортзалі №1	10,68	3,3	Ж-2	Нормальні	200	6	60	15	75	0,2	0,7	0,5
8	Буфет	28,60	3,3	Б-2	Нормальні	300	4	60	15	100	0,2	0,7	0,5
9	Підсобне приміщення буфету №1	7,35	3,3	Ж-2	Нормальні	200	1	60	15	75	0,2	0,7	0,5
10	Підсобне приміщення буфету №2	8,53	3,3	Ж-2	Нормальні	200	1	60	15	75	0,2	0,7	0,5
11	Роздягальня при спортзалі №2	24,04	3,3	Ж-2	Нормальні	200	6	60	15	75	0,2	0,7	0,5
12	Спортивний зал	149,24	6,0	В-2	Нормальні	200	18	60	15	75	0,2	0,7	0,5
13	Снарядна	9,64	3,3	Д	Нормальні	150	2	60	15	50	0,2	0,7	0,5
14	Лабораторія фізики, астрономії, хімії	49,74	3,3	А-2	Нормальні	400	8	40	10	100	0,2	0,7	0,5
15	Лаборантська хімії та біології	13,85	3,3	А-2	Нормальні	400	2	40	10	100	0,2	0,7	0,5
16	Лаборантська фізики та астрономії	14,95	3,3	А-2	Нормальні	400	2	40	10	100	0,2	0,7	0,5
17	Комбінована майстерня для хлопчиків 4-8 класів з обробки металу, деревени та інших видів праці	62,71	3,3	А-2	Запилені	300	12	40	10	100	0,2	0,7	0,5
18	Інструментальна – кімната майстра	11,94	3,3	Г	Запилені	150	4	60	15	50	0,2	0,7	0,5

Продовження таблиці 2.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
19	Кабінет обслуговуючих видів праці для дівчаток 4-8 класів з обробки тканин та кулінарії	32,19	3,3	Б-2	Запилені	400	4	60	15	100	0,2	0,7	0,5
20	Теплоцентр	13,13	3,3	Е	Нормальні	150	3	60	15	50	0,2	0,7	0,5

Освітлення розраховане з урахуванням характеру зорових робіт, призначення приміщень, нормованих рівнів освітленості, вимог енергоефективності та безпеки, ергономічних параметрів освітлення (UGR, пульсація). У приміщеннях прийнято загальне рівномірне освітлення з використанням світлодіодних світильників із розсіювачем. У допоміжних та технічних приміщеннях застосовано локалізоване загальне освітлення. Світлотехнічний розрахунок виконувався в програмі DIALux evo методом коефіцієнта використання світлового потоку. При розрахунку враховано геометрію приміщення, відбиття поверхонь, світлорозподіл світильників, робочу площину на висоті 0,8 м (для класів). Проект освітлювальної установки враховує сучасні тенденції у галузі освітлення, такі як енергоефективність, комфорт, якість світла та довговічність обладнання. Таким чином, ОУ забезпечує комфортні умови навчання, енергоощадність та відповідність усім нормам безпеки та якості.

2.12 Оцінка невізуального впливу системи освітлення в освітньому закладі

Врахування невізуальної дії світла при проектуванні освітлення у школі дає можливість покращити концентрацію учнів удень та сприяти якісному сну.

Зростаючий рівень урбанізації, внутрішнє навчання і широке використання екранів призводять до хронічного дефіциту денного світла у дітей (більшість часу діти проводять в приміщеннях). Освітлення в школі має забезпечувати не лише візуальні потреби (достатню яскравість для читання та письма), а й сприяти біологічно корисному режиму світлової дії на організм – синхронізації циркадних ритмів та самопочуттю учнів. Невізуальна дія світла керує виділенням мелатоніну й циркадними ритмами, тому спектр і режим світла впливають на активність, увагу і якість відпочинку учнів. Огляд досліджень останнього десятиліття показує, що достатня денна освітленість та високий вміст синього світла підвищують пильність і навчальну продуктивність, тоді як надлишок блакитного чи яскравого штучного світла увечері послаблює секрецію мелатоніну й гальмує засинання, особливо у дітей. Під час проєктування освітлювальних систем із урахуванням вимог інтегрального освітлення можна використовувати рівняння (2.6). Воно встановлює залежність між меланопічною еквівалентною освітленістю MEDI та меланопічною ефективністю досліджуваного джерела випромінювання порівняно з денним світлом, а також вертикальною освітленістю в зоні сприйняття ока, що є одним із основних візуальних параметрів освітлення:

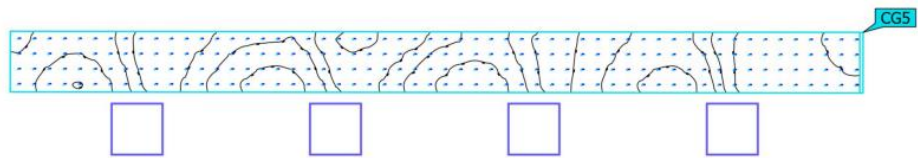
$$MEDI = MDER \cdot E_B, \quad (2.6)$$

де MDER – меланопічне співвідношення денного світла;

E_B – вертикальна освітленість, лк [9].

Таблиця 2.3 – Результати оцінювання мінімально допустимого рівня меланопічного впливу світла

Тип світильника	Колірна температура, К	MDER	$E_{B \text{ мін}}$, лк
Philips	4000	0,82	305



Властивості	$\bar{E}$	$E_{\min}$	$E_{\max}$	$\bar{E}/E_{\min}$	$E_{\max}/E_{\min}$	Позначення
Розрахункова поверхня 5 Вертикальна освітленість	293 lx	114 lx	504 lx	2.57	4.42	CG5

Рисунок 2.4 – Розрахунок вертикальної освітленості приміщення №17

Рекомендований мінімальний рівень меланопічної еквівалентної денного освітленості (MEDI) у денний час становить 250 лк. У вечірній період, не менш ніж за три години до відходу до сну, рекомендовано обмежувати меланопічну освітленість до значення не вище 10 лк.

Оскільки показник MEDI визначається у вертикальній площині на рівні очей людини, під час проєктування та оцінювання інтегрального освітлення важливим є правильний вибір висоти розрахунку вертикальної освітленості. Цей параметр залежить від характерного положення людини в приміщенні. Для аналізу результатів моделювання освітлення розрахункову площину вертикальної освітленості було розташовано на висоті 1,2 м.

Отримані значення кількісних і якісних параметрів світлового середовища при колірній температурі 4000 К відповідають вимогам чинних національних та європейських нормативних документів. Варіант освітлення з колірною температурою 4000 К є найбільш доцільним з точки зору

забезпечення сприятливих умов для природного синтезу мелатоніну під час перебування людини в приміщенні протягом усього робочого дня [9].

3 ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНА ЧАСТИНА

3.1 Вибір напруги та джерел живлення

Вибір напруги і джерел живлення – це етап проектування системи освітлення, під час якого визначається необхідна напруга мережі та тип джерела електроживлення.

Основним завданням на цьому етапі є вибрати таку напругу і джерело живлення, щоб забезпечити безперебійну роботу освітлення з дотриманням вимог електробезпеки.

Для навчальних закладів зазвичай використовується напруга 380/220 В, оскільки це стандартна система електропостачання, яка може забезпечити надійне і безпечне електроживлення. При використанні такого виду напруги, є можливість живлення великої кількості споживачів. Система складається з трьох фазних проводів, нульового проводу і захисного проводу (РЕ). Освітлювальні групи рівномірно розподіляються між трьома фазами, тому зменшується перевантаження окремих ліній. Перевага системи 380/220 В в тому, що вона дозволяє одночасно жити різні типи електроспоживачів у межах однієї електромережі. Однофазні споживачі (220 В) – освітлення, розетки, комп'ютери – підключаються між фазою і нулем. Трифазні споживачі (380 В) підключаються між фазами (потужне обладнання).

Як джерело живлення обрано трансформатор потужністю 400 кВт. Такий трансформатор є основним джерелом живлення для великих об'єктів і забезпечує надійне перетворення електроенергії для систем освітлення та електрообладнання. Він може забезпечити освітлення великого навчального закладу, десятки або сотні освітлювальних груп, одночасну роботу побутового та навчального електрообладнання. Основне призначення трансформатора потужністю 400 кВт – зниження високої напруги до безпечного рівня. Трансформатор має високу надійність і можливість тривалого навантаження [24].

3.2 Вибір схеми живлення

У системах електропостачання освітлення електричні мережі поділяються на живильні та групові лінії.

Живильна лінія передає електроенергію від джерела живлення або розподільчого щита до групових щитків чи великих споживачів. Живильні лінії мають більший переріз проводів і зазвичай живлять кілька груп освітлення. Вони призначені для подачі електроенергії від трансформаторної підстанції і поверхового та головного розподільчого щита.

Групова лінія живить безпосередньо світильники або окрему групу споживачів. Ці лінії відходять від групових щитків. Вони мають меншу потужність. Призначені для забезпечення живлення окремих приміщень або зон (зокрема для класів, коридорів, кабінетів).

Схема живлення – це спосіб підключення електроспоживачів до джерела електроенергії та організації розподілу електричної енергії в мережі. Правильний вибір схеми живлення забезпечить безпечну, економічну та безперебійну роботу системи освітлення й електропостачання будівлі.

Для визначення схеми живлення освітлювальної установки, яка забезпечить правильну організацію електропостачання світильників з відповідністю нормативним вимогам, потрібно визначити категорію електроприймачів щодо забезпечення надійності електропостачання.

Категорії надійності електропостачання визначають ступінь важливості безперервного живлення електроспоживачів і допустиму тривалість перерви в електропостачанні. Існує три категорії електроприймачів.

До першої категорії належать споживачі, перерва електропостачання яких може призвести до загрози життю людей, значних матеріальних збитків, аварій або порушення роботи важливих об'єктів. Споживачі першої категорії живляться від двох незалежних джерел, мають автоматичне резервне ввімкнення. Допускається лише коротка перерва на автоматичне перемикання (від декількох секунд до 1 хвилини). До споживачів цієї категорії можна

віднести операційні в лікарнях, небезпечні виробництва, системи пожежної сигналізації, серверні та диспетчерські та інші об'єкти, відключення яких буде мати негативні наслідки.

До другої категорії відносяться електроспоживачі, перерва в електропостачанні яких призводить до порушення нормальної роботи підприємств або установ, масове недовідпускання продукції, значних незручностей у роботі. До споживачів цієї категорії належать навчальні заклади, великі громадські споруди, частина виробничих підприємств, адміністративні будівлі.

Електропостачання здійснюється від двох незалежних джерел живлення, при аварії одного джерела живлення допускається перерва на час ручного перемикавання і ввімкнення резервного джерела.

Схеми живлення для другої категорії застосовують живлення від двох трансформаторів, дві незалежні кабельні лінії, резервні вводи і перемички між підстанціями.

Друга категорія надійності забезпечує достатньо надійне електропостачання для об'єктів, де короткочасне відключення допустиме, але небажане через порушення нормальної роботи.

До третьої категорії належать усі інші споживачі, для яких перерва електропостачання не спричиняє значних наслідків. До них відносяться побутові споживачі, допоміжні будівлі, складські приміщення та інші споживачі, для яких відключення електропостачання не є критичним. Електроприймачі третьої категорії мають живлення від одного джерела. Для споживачів цієї категорії допускається перерва на час ремонту або усунення аварії (не більше доби) [24].

Отже, система освітлення загальноосвітньої школи відноситься до другої категорії надійності електропостачання. Тому для живлення освітлювальної установки обирається схема живлення від однієї двотрансформаторної підстанції.

Схема живлення від однієї двотрансформаторної підстанції – це схема електропостачання, у якій електроенергія подається від підстанції, що має два силові трансформатори. У нормальному режимі обидва трансформатори можуть працювати паралельно або кожен на свою секцію шин. При аварії одного трансформатора другий бере на себе живлення споживачів.

До складу входять два силові трансформатори, розподільчий пристрій високої напруги, шини низької напруги 380/220 В, живильні та групові лінії і апарати захисту й автоматичного перемикавання. Двотрансформаторна підстанція забезпечує безперебійне освітлення, живлення аварійного освітлення, стабільну роботу вентиляції та обладнання. Схема живлення від однієї двотрансформаторної підстанції забезпечує високу надійність та резервування електропостачання, що особливо важливо для об'єктів I та II категорії.

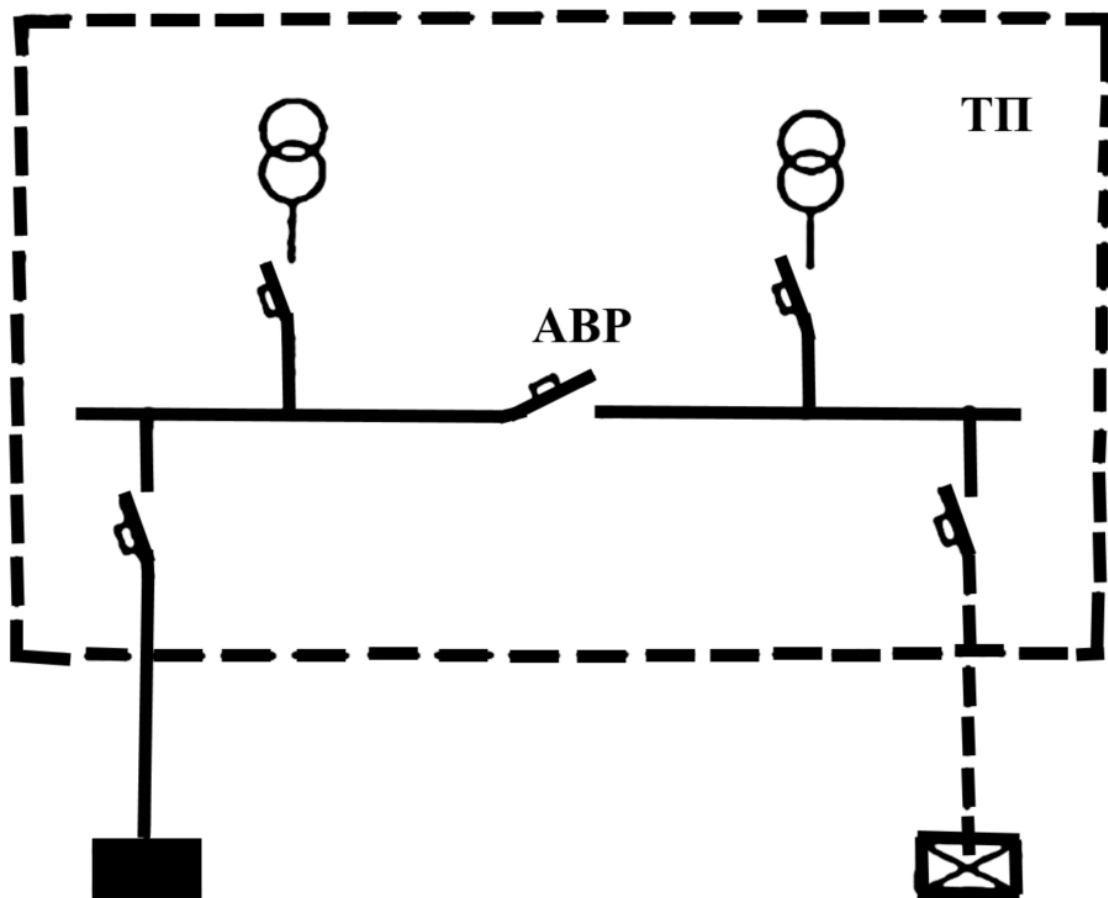


Рисунок 3.1 – Схема живлення від однієї двотрансформаторної підстанції

3.3 Вибір кабелів та проводів

Електропроводка складається з кабелів і проводів, а також відповідних роз'ємів, опор та захисних конструкцій. Залежно від місця прокладки і умов експлуатації освітлювальні електропроводки можуть бути внутрішніми й зовнішніми, за способом виконання проводки усередині приміщень діляться на відкриті й приховані.

Внутрішньою проводкою називають проводку, яка прокладається в закритих будівлях і не піддається впливу атмосферних опадів та прямого впливу температури зовнішнього повітря. Зазвичай у школах для освітлення, розеткових мереж, живлення обладнання і аварійного освітлення використовується внутрішня електропроводка.

Прихована прокладка кабелів найбільше підходить для архітектурних та гігієнічних вимог. Такі кабелі не видно, вони не збирають пил, тому їх найчастіше використовують у громадських та адміністративних будівлях із підвищеними вимогами до чистоти. При прокладанні прихованих кабелів перевага надається замінним кабелям.

Переріз жили проводу або кабелю вибирають за струмовим навантаженням, допустимою втратою напруги та умовами прокладання. Переріз повинен забезпечувати допустиме падіння напруги, яке для освітлювальних мереж зазвичай не перевищує 5% від номінальної напруги. Вибір кількості жил залежить від типу мережі, способу підключення та вимог електробезпеки. Зазвичай однакова кількість провідників, один переріз, однакова відстань між точками приєднання світильників до групової лінії [23-24].

Для освітлюваних установок був обраний кабель марки ВВГ, як найбільш безпечний і надійний.

Таблиця 3.1 – Характеристика кабелю ВВГ

Характеристика	Температура експлуатації	Кількість жил	S, мм ²	Термін служби
Мідні жили з ПВХ ізоляцією, в ПВХ оболонці, неброньований	від -50°C до +50°C	1,2,3,4,5	1,5-50	не менше 30 років

3.4 Визначення місць розташування щитків освітлення

Освітлювальні щитки призначені для приймання і розподілу електричної енергії. За допомогою електричних апаратів, які встановлені в щитках, здійснюється керування освітленням і захист вихідних ліній в освітлювальних установках при перевантаженнях і коротких замиканнях. Розподільні щитки є проміжною ланкою в освітлювальній мережі. До них приєднана лінія, яка живить групові щитки.

Рекомендується розташовувати щитки по можливості в центрі зосередження навантаження, оскільки тим самим скорочується протяжність групової мережі і полегшується переріз дротів; допускається зсув групових щитків у бік джерел живлення; щитки повинні встановлюватися в місцях, вільних від устаткування і зручних для обслуговування. Зазвичай встановлюють щитки поблизу основних входів. Щитки повинні забезпечувати живленням ті поверхи будівель, на яких вони встановлені, виняток допускаються для щитків аварійного освітлення.

Вибір щитків освітлення залежить від кількості груп освітлення, сумарної потужності і типу навантаження [23].

Для школи обираються групові щитки фірми Schneider Electric Prisma для робочого та аварійного освітлення, який підтримує ввід до 125 А і вище, а також високо надійний і має гарну якість.

3.5 Вимикачі та розетки

У школах штепсельні розетки та вимикачі для світильників загального освітлення встановлюються на висоті 1,8м. Всі штепсельні розетки повинні мати захисне пристосування, що автоматично закриває усі отвори і гнізда розеток. Вимикачі повинні розташовуватись біля входу зсередини. Для приміщень з несприятливим середовищем (душові, роздягальні) вимикачі потрібно розміщувати у суміжних приміщеннях з кращими умовами.

Рекомендується у кожному класі розподілити світильники на 2 та більше ланцюги. Це гарантує, якщо один світильник вийде з ладу, інші залишаться увімкненими. Також, у класах з природною освітленістю це дозволить мати роздільне управління зонами з різною природною освітленістю, що забезпечить адаптивність і енергоефективність в різний час доби.

Необхідно розробити таку систему керування освітленням, щоб забезпечити зручне вмикання та вимикання освітлення і безпеку при користуванні. Для того, щоб розробити систему керування, застосовують такі елементи, як вимикачі (одноклавішні, багатоклавішні), перемикачі (прохідні, перехресні), датчики руху та присутності, фотореле, реле часу, контролери автоматизації (розумні системи). Найпростіший варіант – це ручне керування, в якому використовують звичайні вимикачі. Зазвичай такий варіант керування застосовується у навчальних класах і кабінетах. Для великих приміщень зручно використовувати групове керування освітленням. При такому керуванні світильники об'єднуються у групи, і кожна група керується окремо. Також існує автоматичне керування, при якому датчики руху вмикають світло при появі людини, фотореле вмикає освітлення при зниженні природного

світла або таймери вимикають освітлення за розкладом. У навчальних закладах зручніше використовувати комбіноване керування освітленням, тобто поєднати ручний та автоматичний режим [23].

3.6 Електротехнічний розрахунок

Важливою частиною в електротехнічному розрахунку є розподіл втрат напруги між ділянками мережі, тому необхідно правильно вибрати переріз провідників на кожній ділянці. Площа перерізу визначається за формулою:

$$S = \frac{\Sigma M + \Sigma \alpha m}{c \Delta U}, \quad (3.1)$$

де S – площа перерізу жили, мм^2 ;

ΣM – сума електричних моментів, $\text{кВт} \cdot \text{м}$;

Σm – сума моментів навантаження відгалужень;

α – коефіцієнт приведення (залежить від схеми мережі та розташування навантажень);

c – коефіцієнт, що залежить від матеріалу провідника, напруги мережі та системи струму;

ΔU – допустима втрата напруги від початку лінії до кінця відгалужень, %.

Сума електричних моментів знаходиться за формулою:

$$M = P \cdot L, \quad (3.2)$$

де P – потужність навантаження, кВт ;

L – довжина відгалуження, м .

Щиток робочого освітлення ОЩ – 1:

1-а групова лінія

$$m = 1,5 \cdot 0,032 + 3 \cdot 0,31 + 8 \cdot 0,0933 + 2 \cdot 0,106 + 4,5 \cdot 0,213 + 3,5 \cdot 0,205 +$$

$$+ 6 \cdot 0,0561 + 7,5 \cdot 0,0561 = 4,36 \text{ кВт}\cdot\text{м}$$

3-я групова лінія

$$m = 4 \cdot 0,171 + 4,5 \cdot 0,136 + 1 \cdot 0,078 + 8,5 \cdot 0,0245 + 9 \cdot 0,143 + 2 \cdot 0,034 + \\ + 3 \cdot 0,034 + 1,5 \cdot 0,106 + 5 \cdot 0,085 = 3,62 \text{ кВт}\cdot\text{м}$$

5-а групова лінія

$$m = 5 \cdot 0,0886 + 5,5 \cdot 0,215 + 6 \cdot 0,215 + 2 \cdot 0,0184 + 4 \cdot 0,127 + 1 \cdot 0,0958 + \\ + 5 \cdot 0,183 + 3 \cdot 0,082 + 2,5 \cdot 0,0914 + 7 \cdot 0,0329 = 5,17 \text{ кВт}\cdot\text{м}$$

Результати розрахунку для всіх групових ліній наведені у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Моменти групових ліній щитків робочого і аварійного освітлення

№ щитка	№ групи	Встановлена потужність, кВт	Приведений момент, кВт·м
ОЩ – 1	1	1,071	4,36
	3	0,811	3,62
	5	1,149	5,17
ОЩ – 2	1	0,566	4,76
	3	1,389	3,47
	5	1,013	2,73
ОЩ – 3	1	1,261	0,73
	3	0,796	6,16
	5	0,498	4,57
ОЩ – 4	1	1,363	1,73
	3	0,417	3,33
	5	1,221	1,58
ОЩ – 5	1	1,102	3,74
	3	1,108	8,35
	5	0,292	3,26
ОЩА	1	0,48	7,20
	3	0,54	11,8
	5	0,36	9,36
Σ		15,43	85,92

Силове навантаження становить 80% від освітлювального. Оскільки відомо, що $P_{осв} = 15,43$ кВт, склавши пропорцію можна знайти силове навантаження:

$$P_{сил} = 15,43 \cdot 80/20 = 61,72 \text{ кВт}$$

Таким чином можна визначити загальну потужність трансформатора:

$$P_{тр} = 15,43 + 61,72 = 77,15 \text{ кВт}$$

Моменти на кожній ділянці мережі живлення:

$$M_{AB} = 62 \cdot 77,15 = 4783,3 \text{ кВт}\cdot\text{м}$$

$$M_{БВ} = 10 \cdot 4,95 = 49,5 \text{ кВт}\cdot\text{м}$$

$$M_{ГГ} = 13 \cdot 3,46 = 44,98 \text{ кВт}\cdot\text{м}$$

$$M_{ГД} = 9 \cdot 3,87 = 34,83 \text{ кВт}\cdot\text{м}$$

$$M_{БГ} = 18 \cdot 6,82 = 122,76 \text{ кВт}\cdot\text{м}$$

$$M_{ВМ} = 5 \cdot 3,09 = 15,45 \text{ кВт}\cdot\text{м}$$

$$M_{БК} = 10 \cdot 5,13 = 51,3 \text{ кВт}\cdot\text{м}$$

$$M_{ВЕ} = 12 \cdot 2,97 = 35,64 \text{ кВт}\cdot\text{м}$$

$$M_{БЖ} = 20 \cdot 1,62 = 32,4 \text{ кВт}\cdot\text{м}$$

Площа перетину провідників:

Ділянка АБ

$$S_{AB} = \frac{4783,3 + 1,85 \cdot 85,92}{77 \cdot 5} = 12,83 \text{ мм}^2$$

Найближче значення перерізу кабеля у напрямку збільшення (з табличних даних):

$$S_{ст AB} = 16 \text{ мм}^2$$

Втрати напруги на ділянці АБ:

$$U = \frac{M}{C \cdot S_{\text{ст}}}, \quad (3.3)$$

$$U = \frac{4783,3}{77 \cdot 16} = 3,88 \%$$

Допустимі втрати напруги, починаючи з точки Б:

$$U = 5,0 - 3,88 = 1,12 \%$$

Результати розрахунку для всіх ділянок живильної і групової мережі представлені у таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Розрахунок площі перерізу кабелів і проводів

Ділянка	$S_{\text{розр}}, \text{мм}^2$	$S_{\text{ст}}, \text{мм}^2$	$U_{\text{діл}}, \%$	$U_{\rightarrow}, \%$
АБ	12,83	16	3,88	1,12
БВ	0,54	1,5	0,42	2,08
ГІ	0,52	1,5	0,38	2,12
ГД	0,50	1,5	0,30	2,20
БГ	0,73	1,5	1,06	1,44
ВМ	0,45	1,5	0,13	2,37
БК	0,54	1,5	0,44	2,06
ВЕ	0,50	1,5	0,30	2,20
БЖ	0,49	1,5	0,28	2,22
ОЩ – 1:				
1	0,42	1,5		
3	0,42	1,5	—	—
5	0,42	1,5		

Продовження таблиці 3.3

Ділянка	$S_{розр}, \text{мм}^2$	$S_{ст}, \text{мм}^2$	$U_{діл}, \%$	$U_{\rightarrow}, \%$
ОЩ – 2:				
1	0,42	1,5		
3	0,42	1,5	—	—
5	0,41	1,5		
ОЩ – 3:				
1	0,41	1,5		
3	0,42	1,5	—	—
5	0,42	1,5		
ОЩ – 4:				
1	0,41	1,5		
3	0,42	1,5	—	—
5	0,41	1,5		
ОЩ – 5:				
1	0,42	1,5		
3	0,43	1,5	—	—
5	0,42	1,5		
ОЩА:				
1	0,43	1,5		
3	0,44	1,5	—	—
5	0,43	1,5		

3.7 Вибір апаратів захисту

Захист електричних мереж забезпечує безпеку людей і обладнання, запобігаючи перевантаженням, коротким замиканням і витокам струму. Захист базується на підборі автоматичних вимикачів за номінальним струмом та граничною відключаючою здатністю, застосуванні пристроїв захисного відключення за номінальними витоковими струмами і реалізації селективності та резервних схем. Розрахунок включає визначення робочого струму, підбір перерізу кабелю (з урахуванням допустимого струму), перевірку перевантаження і короткого замикання. Також автомат має витримати струм

КЗ у точці монтажу. Номінальний струм підбирають за розрахунковим навантаженням, а здатність відключення – за очікуваним струмом КЗ.

Аналітичне проектування враховує потужності, умови монтажу та експлуатації. Чітке дотримання алгоритму розрахунків і рекомендацій дозволяє уникнути аварій та збоїв і створити надійну схему захисту відповідно до передових практик і нормативів.

Автоматичні вимикачі типу В застосовують здебільшого для освітлення/слабких навантажень, тип С – для загальних розеток та змішаних навантажень, тип D – для двигунів і високих пускових струмів. Для школи був обраний універсальний вимикач для більшості мереж (тип С).

У громадських будівлях лінії групової мережі, що прокладаються від групових щитків до світильників повинні бути трифазними. Навантаження має бути рівномірним, різниця між фазами – не більше 10-15%, це запобігає перекосу фаз і перегріву проводів. Для довгих ліній допустиме падіння напруги $\approx 5\%$ [23-24].

Для захисту освітлювальних мереж у загальноосвітній школі були обрані автоматичні вимикачі серії ВА 47-29 С, тому що вони надійні для громадських мереж.

Автоматичні вимикачі обираються за робочим струмом. Формула для визначення струму у трифазній мережі з нулем:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{л}} \cdot \cos \varphi}, \quad (3.4)$$

де P – розрахункове навантаження, кВт;

$U_{\text{л}}$ – лінійна напруга, кВ;

$\cos \varphi$ – коефіцієнт потужності, 0,9.

Визначення струму для кожної фази в системі з нейтраллю дво- та трифазної мережі з нулем:

$$I = \frac{P}{U_{\phi} \cdot \cos \varphi}, \quad (3.5)$$

де P – опір навантаження, кВт;

U_{ϕ} – фазна напруга, кВ;

$\cos \varphi$ – коефіцієнт потужності навантаження.

Загальна потужність ділянки АБ становить $P = 61,72$ кВт, отже можна визначити струм автоматичного вимикача для цієї ділянки:

$$I = \frac{61,72}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,9} = 104 \text{ А}$$

Серед стандартних типів і номіналів, які застосовуються для захисту електричних мереж від перевантажень та коротких замикань, приймається струм $I_{a.v.} = 125$ А. У таблиці 3.4 представлені результати розрахунку для всіх ділянок мережі.

Таблиця 3.4 – Перевірка струмів автоматичних вимикачів

Ділянка	P , кВт	Розрахункове значення струму I , А	$I_{a.v.}$, А	Тип автоматичного вимикача	Марка кабелю, проводу	$I_{дд}$, А
АБ	61,72	104	125	ВА88-32	ВВГнг(5×35)	135
БВ	4,95	8,35	10	ВА47-29 С10	ВВГнг(5×1,5)	19
ГІ	3,46	5,84	6	ВА47-29 С6	ВВГнг(5×1,5)	19
ГД	3,87	6,53	10	ВА47-29 С10	ВВГнг(5×1,5)	19
БГ	6,82	11,51	13	ВА47-29 С13	ВВГнг(5×1,5)	19
ВМ	3,09	5,21	6	ВА47-29 С6	ВВГнг(5×1,5)	19
БК	5,13	8,66	10	ВА47-29 С10	ВВГнг(5×1,5)	19
ВЕ	2,97	5,01	6	ВА47-29 С6	ВВГнг(5×1,5)	19
БЖ	1,62	2,73	6	ВА47-29 С6	ВВГнг(5×1,5)	19
ОЩ – 1:						
1	1,071	1,80	3	ВА47-29 С3	ВВГнг-LS(3×1,5)	19
3	0,811	1,36	3	ВА47-29 С3	ВВГнг-LS(3×1,5)	19
5	1,149	1,93	3	ВА47-29 С3	ВВГнг-LS(3×1,5)	19

Продовження таблиці 3.4

Ділянка	P, кВт	Розрахункове значення струму I, А	I _{ав.} , А	Тип автоматичного вимикача	Марка кабелю, проводу	I _{дд} , А
ОЩ – 2:						
1	0,566	0,95	3	ВА47-29 С3	ВВГнг-LS(3×1,5)	19
3	1,389	2,34	3	ВА47-29 С3	ВВГнг-LS(3×1,5)	19
5	1,013	1,71	3	ВА47-29 С3	ВВГнг-LS(3×1,5)	19
ОЩ – 3:						
1	1,261	2,12	3	ВА47-29 С3	ВВГнг-LS(3×1,5)	19
3	0,796	1,34	3	ВА47-29 С3	ВВГнг-LS(3×1,5)	19
5	0,498	0,84	3	ВА47-29 С3	ВВГнг-LS(3×1,5)	19
ОЩ – 4:						
1	1,363	2,30	3	ВА47-29 С3	ВВГнг-LS(3×1,5)	19
3	0,417	0,70	3	ВА47-29 С3	ВВГнг-LS(3×1,5)	19
5	1,221	2,06	3	ВА47-29 С3	ВВГнг-LS(3×1,5)	19
ОЩ – 5:						
1	1,102	1,86	3	ВА47-29 С3	ВВГнг-LS(3×1,5)	19
3	1,108	1,87	3	ВА47-29 С3	ВВГнг-LS(3×1,5)	19
5	0,292	0,49	3	ВА47-29 С3	ВВГнг-LS(3×1,5)	19
ОЩА:						
1	0,48	0,81	3	ВА47-29 С3	ВВГнг-LS(3×1,5)	19
3	0,54	0,91	3	ВА47-29 С3	ВВГнг-LS(3×1,5)	19
5	0,36	0,60	3	ВА47-29 С3	ВВГнг-LS(3×1,5)	19

Аварійне освітлення є обов'язковою складовою системи освітлення навчального закладу і призначене для забезпечення безпеки людей у разі аварійного відключення основного електроживлення. Аварійне освітлення належить до споживачів I категорії надійності електропостачання, тому повинно мати резервне джерело живлення: незалежну лінію живлення, яка автоматично вмикається при зникненні робочої напруги.

Зазвичай у школах та інших навчальних закладах аварійне освітлення передбачають у коридорах, на сходових клітках, у вестибюлях, біля евакуаційних виходів та у спортивних і актових залах [23].

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Задачі в галузі охорони праці

Основне завдання в області охорони праці для школи – створити такі умови, за яких ризик травмування або погіршення здоров'я учнів буде мінімальним.

Завданням цього розділу є забезпечення вимог нормативно-технічних документів щодо організації умов праці для співробітників світлотехнічній проєктно-дослідницькій лабораторії при проєктуванні системи освітлення школи з урахуванням невізуального впливу світла.

Збереження працездатності є одним із головних завдань охорони праці. Воно полягає у створенні таких умов, за яких виключається або максимально зменшується вплив небезпечних і шкідливих факторів.

Необхідно регулярно організовувати інструктажі з охорони праці для здобувачів освіти. Це включає загальні правила безпеки в закладі освіти, порядок дій у надзвичайних ситуаціях, основи пожежної та електробезпеки. Інструктажі з пожежної безпеки повинні містити інформацію щодо запобігання виникненню пожеж, основні причини та дії у разі виникнення. Особливу увагу потрібно приділити інструктажу з правил роботи за комп'ютером для безпечного використання комп'ютерної техніки і збереження здоров'я здобувачів освіти.

Вибір джерела світла з врахуванням невізуального впливу також є важливим. Неправильний вибір може негативно впливати на біологічні ритми, самопочуття, працездатність та здоров'я здобувачів освіти. Синя складова пригнічує вироблення мелатоніну, надлишок синього світла порушує сон. Збалансований спектр зменшує негативний вплив на організм. Для навчання оптимальне нейтральне світло (4000 - 5000 К). Таке світло забезпечує концентрацію, але не буде викликати перевтому при тривалому впливі. Також сучасні LED-світильники повинні мати мінімальне або відсутнє

низькочастотне мерехтіння. Воно негативно впливає на зір, концентрацію і нервову систему. Індекс передачі кольору (природність сприйняття кольорів) для навчальних приміщень рекомендується $R_a \geq 90-100$, щоб зменшити зорову втому. Важлива рівномірність світлового поля, тому що надмірна яскравість викликає дискомфорт, а недостатнє освітлення знижує працездатність. Також рекомендується поєднувати штучне та природне освітлення.

Завданням цього розділу є забезпечення вимог нормативно-технічних документів щодо організації умов праці у світлотехнічній проєктно-дослідницькій лабораторії [20-21].

4.2 Опис робіт, що виконуються в світлотехнічній проєктно-дослідницькій лабораторії

Світлотехнічна дослідницька лабораторія призначена для проведення досліджень, вимірювань і випробувань освітлювальних приладів, джерел світла та проєктування систем освітлення. Тому приміщення лабораторії повинно відповідати низці регламентованих технічних, санітарно-гігієнічних та безпекових вимог.

Лабораторія розташована на 1 поверху, площа приміщення забезпечує вільне розміщення обладнання та робочих місць. У світлотехнічній лабораторії є дослідницькі стенди, комп'ютери, прилади для вимірювання характеристик різних світлових приладів. При роботі за комп'ютером необхідно дотримуватись правил роботи за ком'ютерною технікою для збереження здоров'я: дотримуватися правильної посадки; тримати відстань до монітора 50–70 см; робити перерви кожні 20–30 хвилин; не працювати при поганому освітленні; виконувати вправи для очей. Робочий стілець має забезпечувати правильну посадку, зменшення навантаження на опорно-руховий апарат і профілактику втоми під час роботи. Також повинна бути можливість регулювання під зріст і відповідність робочому столу та монітору.

Висота приміщення має бути достатньою для встановлення випробувальних стендів і світлотехнічного обладнання. Планування повинно забезпечувати зручне переміщення персоналу та доступ до обладнання.

Вимоги до освітлення у світлотехнічній проєктно-дослідницькій лабораторії визначаються за нормативними документами. Основними вимогами є відсутність стороннього світла під час проведення вимірювань, використання затемнювальних засобів (жалюзі, штори, світлонепроникні екрани), забезпечення нормативної освітленості робочих місць, наявність загального та місцевого освітлення і можливість регулювання рівня освітленості.

У світлотехнічній проєктно-дослідницькій лабораторії виконуються роботи, пов'язані з дослідженням, випробуванням, вимірюванням та аналізом характеристик джерел світла, світильників і освітлювальних систем. Роботи проводяться електротехнічним персоналом, науковими співробітниками.

Основними роботами у світлотехнічній дослідницькій лабораторії є підготовка обладнання, проведення світлотехнічних вимірювань, дослідження характеристик джерел світла та світильників, комп'ютерне моделювання освітлення, обробка результатів і оформлення технічної документації. Виконання цих операцій забезпечує отримання достовірних результатів досліджень та підвищення якості проєктування освітлювальних систем.

4.3 Виявлення небезпечних і шкідливих факторів

Для світлотехнічної лабораторії виявлення небезпечних і шкідливих факторів є важливим етапом в забезпеченні безпеки і здоров'я працівників. Їх своєчасне виявлення дозволяє розробити ефективні заходи захисту.

Небезпечні фактори, які можуть бути виявлені у проєктно-дослідницькій лабораторії:

Фізичні:

- недостатня освітленість робочої зони (призводить до швидкої втоми очей, зниження працездатності та збільшення кількості помилок під час виконання робіт)
- відсутність чи нестача природного світла (погіршується комфорт праці, зростає втомлюваність працівників, можливе погіршення психоемоційного стану)
- підвищена або знижена температура повітря (відхилення температури від нормативних значень негативно впливає на самопочуття та працездатність персоналу)
- підвищена пульсація світлового потоку (викликає подразнення зору, головний біль та зниження концентрації уваги)
- підвищений рівень шуму (джерелами шуму є комп'ютерна техніка, серверне обладнання, системи вентиляції та кондиціонування; надмірний шум ускладнює сприйняття інформації, знижує концентрацію та викликає нервові напруження)
- надмірне освітлення (призводить до появи відблисків і засліплюючого ефекту)

Психофізіологічні:

- нервово-психічні фактори (у проєктно-дослідницькій лабораторії працівники постійно аналізують великі обсяги інформації, виконують складні розрахунки, приймають відповідальні технічні рішення та працюють із високою точністю, це створює значне навантаження на нервову систему та органи чуття)
- тривала концентрація уваги (призводить до втоми, зниження продуктивності праці та збільшення ймовірності помилок) [20-22].

4.4 Розробка заходів і засобів захисту з охорони праці

Запропоновані організаційні заходи у таблиці 4.1 спрямовані на зниження впливу фізичних та психофізіологічних факторів у світлотехнічній проєктно-дослідницькій лабораторії. Їх реалізація дозволить забезпечити безпечні умови праці, зберегти здоров'я та підвищити працездатність.

Організаційні заходи спрямовані на створення безпечних умов праці шляхом належної організації робочого процесу, контролю за дотриманням вимог охорони праці та раціонального використання обладнання.

Таблиця 4.1 – Організаційні заходи захисту

Небезпечний фактор	Організаційні заходи захисту
недостатня освітленість робочої зони	забезпечення нормативного рівня освітленості; встановлення додаткових світильників місцевого освітлення; регулярне очищення світильників і вікон
відсутність чи нестача природного світла	раціональне розташування робочих місць біля вікон; збільшення площі світлопрозорих конструкцій; використання комбінованого освітлення з наближеним до природного спектром світла
підвищена або знижена температура повітря	використання систем опалення, вентиляції та кондиціонування
підвищена пульсація світлового потоку	використання сучасних LED-світильників із низьким коефіцієнтом пульсації
підвищений рівень шуму	використання малошумного обладнання; регулярне технічне обслуговування вентиляторів та кондиціонерів
надмірне освітлення	використання регульованих джерел світла; усунення відблисків на робочих поверхнях та моніторах

Продовження таблиці 4.1

Небезпечний фактор	Організаційні заходи захисту
нервово-психічні фактори	раціональна організація праці; дотримання регламентованих перерв
тривала концентрація уваги	встановлення перерв під час роботи за комп'ютером (5–15 хв через кожні 1–2 години роботи); чергування роботи за комп'ютером з іншими видами діяльності; автоматизація рутинних операцій

Необхідність впровадження організаційних заходів з охорони праці обумовлена наявністю небезпечних і шкідливих виробничих факторів, які можуть негативно впливати на здоров'я, працездатність і безпеку працівників.

4.5 Електробезпека у світлотехнічній проєктно-дослідницькій лабораторії

Електробезпека є обов'язковою умовою безпечної роботи з електрообладнанням. Дотримання правил, використання захисних засобів і справного обладнання дозволяє запобігти нещасним випадкам і зберегти життя та здоров'я. У цьому розділі будуть розглянуті організаційні і технічні заходи, спрямовані на запобігання ураженню людини електричним струмом, електротравмам, а також на забезпечення безпечної експлуатації електроустановок.

Електричний струм може викликати ураження нервової системи, опіки різного ступеня, порушення серцевої діяльності, судоми та втрату свідомості і навіть можуть бути летальні наслідки.

Основні причини електротравм – дотик до оголених струмоведучих частин, несправні електроприлади або пошкоджена ізоляція проводів. Тому не

можна торкатися оголених проводів, працювати з мокрими руками, використовувати несправні прилади або перевантажувати електромережу.

Технічні заходи електробезпеки є основою захисту людини від ураження електричним струмом. Їх застосування забезпечує безпечну експлуатацію електроустановок і значно знижує ризик аварій та нещасних випадків.

Основні технічні заходи електробезпеки – захисне заземлення і занулення. Заземлення застосовується у всіх електроустановках з металевими корпусами (з'єднуються металеві неструмоведучі частини обладнання із землею), зменшує напругу дотику до безпечного рівня. Занулення – це з'єднання корпусів електрообладнання з нульовим провідником. Використовується в мережах з глухозаземленою нейтраллю і забезпечує автоматичне вимкнення при замиканні на корпус.

До технічних заходів також відносяться пристрої захисного вимкнення. Пристрої реагують на витік струму і автоматично відключають живлення при небезпечному витоку при короткому замиканні або перевантаженні, що зменшує ризик ураження струмом і пожеж.

Організаційні заходи електробезпеки забезпечують правильну організацію робіт з електрообладнанням, мінімізують людський фактор і є важливою складовою системи охорони праці. Насамперед, необхідно призначити відповідальну особу за електрогосподарство і за безпечне проведення робіт у світлотехнічній лабораторії. Для працівників повинні регулярно проводитися інструктажі з правил електробезпеки і періодично перевіряти їх знання [20-21].

4.6 Забезпечення пожежної безпеки

Забезпечення пожежної безпеки є обов'язковою умовою для будь-якого приміщення, зокрема світлотехнічної лабораторії. Виконання організаційних і

технічних заходів дозволяє запобігти пожежам, зменшити їх наслідки та гарантувати безпеку людей і збереження обладнання.

Для того, щоб зменшити ймовірність виникнення пожежі необхідно використовувати негорючі або важкогорючих матеріали і кабелі із пониженим димо- та газовиділенням. Необхідно регулярно оглядати електромережі, перевіряти ізоляції проводів для утримання електрообладнання у справному стані, і не допускати перевантаження мережі. Для виявлення пожежі на ранній стадії у світлотехнічній лабораторії повинні бути автоматичні системи пожежної сигналізації і аварійне освітлення.

Для світлотехнічної лабораторії вуглекислотні вогнегасники є одним із найдоцільніших засобів пожежогасіння, оскільки дозволяють гасити світлотехнічні стенди, джерела живлення, комп'ютерне обладнання і вимірювальні прилади не пошкоджуючи їх водою або піною.

Під час спрацювання вогнегасника вуглекислий газ виходить під високим тиском і перетворюється на газоподібну та снігоподібну масу з дуже низькою температурою, це зменшує концентрацію кисню і тому припиняє процес горіння. Вуглекислотні вогнегасники не залишають слідів після використання і навіть придатні для гасіння електроустановок під напругою.

Регулярне проведення інструктажів з пожежної безпеки і з реагування на надзвичайні ситуації дозволить своєчасно організувати захист людей, зменшити наслідки аварій. У доступних і добре освітлених місцях повинні розміщуватись евакуаційні плани. Це є важливим елементом системи пожежної безпеки, що забезпечить швидку орієнтацію людей та організовану евакуацію у разі виникнення пожежі або іншої надзвичайної ситуації. Шляхи евакуації на плані позначаються стрілками, що вказують напрямок руху до найближчого евакуаційного виходу. Для швидкої орієнтації на евакуаційному плані позначається місце знаходження людини. Окрім цього на плані додатково рекомендується позначати місця відключення електроживлення і розміщення вуглекислотних вогнегасників [20].

4.7 Долікарська допомога потерпілим при нещасних випадках

Ураження електричним струмом є однією з найнебезпечніших аварійних ситуацій у світлотехнічній дослідницькій лабораторії, оскільки під час роботи використовуються електричні мережі, світильники, вимірювальні прилади та випробувальні стенди.

Порядок надання долікарської допомоги:

1. За допомогою вимикача, рубильника або автоматичного вимикача необхідно вимкнути електроживлення, щоб звільнити потерпілого від дії струму. Якщо це неможливо, відокремити потерпілого від струмоведучих частин за допомогою сухих діелектричних предметів (дерев'яної палиці, сухої дошки, гумового килимка тощо).

2. Після звільнення від дії струму потрібно перевірити свідомість потерпілого, дихання, наявність пульсу, реакцію зіниць і наявність опіків або інших травм.

3. негайно викликати швидку медичну допомогу за номером та повідомити місце події і стан потерпілого.

4. Якщо потерпілий при свідомості, забезпечити йому спокій, покласти або посадити в зручне положення і контролювати стан до прибуття медиків. Якщо потерпілий без свідомості, але дихає, необхідно покласти його у стабільне бокове положення і контролювати дихання та пульс. Якщо відсутнє дихання або пульс, негайно розпочати серцево-легеневу реанімацію: Співвідношення компресій та вдихів: 30:2 (30 натискань на грудну клітку; 2 рятувальні вдихи). Продовжувати до відновлення ознак життя або прибуття медиків.

5. Якщо є електричні опіки необхідно накласти суху стерильну пов'язку. Не можна проколювати пухирі або наносити мазі чи інші речовини на рану.

4.8 Висновки за розділом

У розділі «Охорона праці» було розглянуто основні вимоги щодо забезпечення безпечних і здорових умов праці під час роботи у світлотехнічній проєктно-дослідницькій лабораторії. Проведено аналіз нормативно-правових вимог з охорони праці, електробезпеки та пожежної безпеки, а також визначено заходи щодо запобігання виробничому травматизму та аварійним ситуаціям.

Особливу увагу приділено організації безпечного робочого середовища, проведенню інструктажів з охорони праці та дотриманню правил експлуатації електротехнічного обладнання. Розглянуто технічні та організаційні заходи електробезпеки, спрямовані на захист персоналу від ураження електричним струмом.

Також визначено порядок надання домедичної допомоги потерпілим при ураженні електричним струмом, що є особливо важливим для лабораторій, у яких використовується електрообладнання та вимірювальна апаратура.

Реалізація запропонованих заходів з охорони праці забезпечує безпечну експлуатацію світлотехнічної лабораторії, знижує ризик виникнення нещасних випадків, сприяє збереженню життя і здоров'я працівників.

ВИСНОВКИ

У бакалаврській роботі була розроблена освітлювальна установка для загальноосвітньої школи. Під час проєктування виконано аналіз призначення приміщень, характеру зорових робіт та вимог чинних нормативних документів щодо освітлення навчальних закладів.

На основі проведеного аналізу обрано систему загального рівномірного освітлення із застосуванням сучасних світлодіодних світильників, які забезпечують високу енергоефективність, належну якість світла, безпечність експлуатації та відповідність вимогам щодо кольоропередачі, коефіцієнта пульсації й обмеження засліпленості. Виконано світлотехнічні розрахунки, визначено необхідну кількість світильників, перевірено показники освітленості, дискомфорту (UGR) та циліндричної освітленості.

В електротехнічній частині обґрунтовано вибір системи електропостачання, джерел живлення, кабельно-провідникової продукції та апаратів захисту. Виконано розрахунок навантажень, визначено перерізи кабелів, втрати напруги та параметри автоматичних вимикачів. Запропонована схема живлення забезпечує надійне та безпечне функціонування освітлювальної установки відповідно до вимог другої категорії надійності електропостачання.

Окрему увагу приділено питанням охорони праці та впливу освітлення на здоров'я учнів. Запропоновані технічні рішення сприяють підвищенню працездатності, зниженню зорової втоми та створенню сприятливого освітнього середовища.

Розроблена система освітлення відповідає всім нормативним вимогам і забезпечує комфортне світлове середовище.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Васильєва Ю. О., Ляшенко О. М. Конспект лекцій з дисципліни «Світлотехнічні установки та системи». URL : <https://eprints.kname.edu.ua/60952/> (дата звернення: 11.05.2026).
2. В. С. Чернець. О. І. Лісна, О. М. Ляшенко, Д.П. Зубков. Методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни «Світлотехнічні установки та системи» [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://eprints.kname.edu.ua/41156/> (дата звернення: 08.05.2026)
3. Третьяков О.Ю., Назаренко Л.А., Діденко О.М. Метрики оптичного випромінення з врахуванням циркадних відкликів світла. https://eprints.kname.edu.ua/66041/1/%D0%A1%D0%91_2024_2-108-110.pdf (дата звернення: 12.05.2026)
4. X. Meng, M. Zhang, M. Wang Effects of school indoor visual environment on children's health outcomes: A systematic review, Health & Place, Volume 83, September 2023, <https://doi.org/10.1016/j.healthplace.2023.103021>. (date of access: 01.06.2026).
5. Сайт розробника програми DIALux [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.dialux.de/> (дата звернення: 15.05.2026)
6. Назаренко Л. А. Світлотехнічні розрахунки: навч. посібник / Л. А. Назаренко, Т. В. Можаровська, В. С. Чернець ; Харків. нац. ун-т міськ. госпва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. – 142 с. <https://eprints.kname.edu.ua/48568/> (дата звернення: 15.05.2026)
7. Природне і штучне освітлення : ДБН В.2.5 – 28 – 2018 : Держбуд України чинний з 01.01.2019. – К. : Держ. комітет України з будівництва та архітектури, 2018. – 76 с. https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/dbn_v_2_5_28/1-1-0-1188 (дата звернення: 03.05.2026)
8. CIE Position Statement on Integrative Lighting Recommending. Proper Light at the Proper Time. 2024. 3rd Edition. DOI:

10.25039/PS.b2twa77ghttps://files.cie.co.at/CIE%20PS%20001_2024%20CIE%20Position%20Statement%20%20Recommending%20Proper%20Light%20at%20the%20Proper%20Time-3rd%20ed.pdf (date of access: 10.05.2026).

9. Ляшенко О.М., Діденко О.М. Проєктування інтегрального освітлення громадських будівель. Комунальне господарство міст. 2025. том 3, випуск 191. С. 34-39. DOI:т10.33042/2522-1809-2025-3-191-34 -39. (дата звернення: 10.05.2026)

10. CIE Research Strategy 2023. DOI: 10.25039/vudfg44z. <https://files.cie.co.at/CIEResearchStrategy2023.pdf> (date of access: 10.05.2026).

11. Ляшенко О.М, Кіндінова А.К. Оцінка ефективності застосування біологічно активного і емоційного освітлення для освітлення навчальних аудиторій. https://eprints.kname.edu.ua/61305/1/Ch._%202_%20_2021-8-9.pdf (дата звернення: 05.06.2026)

12. Закон України «Про пожежну безпеку» від 17.12.93. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3745-12> (дата звернення: 11.06.2026)

13. Human Centric Lighting Society. <https://www.humancentriclighting.org/> (date of access: 02.06.2026).

14. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0093-98> (дата звернення: 11.06.2026)

15. Колірні метрики: монографія / Л. А. Назаренко, О. М. Діденко, О. М. Ляшенко. Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2025.

16. Іоффе К. І., Черкашина О.Л. Конспект лекцій з дисципліни «Системи керування світлотехнічними пристроями» для спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018.

https://eprints.kname.edu.ua/48452/1/2016_%D0%BF%D0%B5%D1%87_106%D0%9B%20%20%D0%A1%D0%9A%D0%A1%D0%9F%20%28%D0%BF%D0%BE%D1%81%D0%BB%D0%B5%20%D1%80%D0%B5%D0%B4%D0%B0%D0

%BA%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%B0%29.pdf (дата звернення: 29.05.2026)

17. Фізика і техніка світлодіодів: навч. посібник / Л. А. Назаренко, А. І. Колесник. Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2021.
<https://eprints.kname.edu.ua/61227/1/14%20%D1%8D%D0%BA%D0%B7%20%D0%A4%D1%96%D0%B7%D0%B8%D0%BA%D0%B0%202019%20%D0%BF%D0%B5%D1%87%2027%D0%9D%20%D0%9D%D0%B0%D0%B7%D0%B0%D1%80%D0%B5%D0%BD%D0%BA%D0%BE%20%D0%9A%D0%BE%D0%BB%D0%B5%D1%81%D0%BD%D0%B8%D0%BA.pdf> (дата звернення: 30.05.2026)

18. Положення про затвердження Порядку класифікації надзвичайних ситуацій за їх рівнями від 24 березня 2004 р. № 368.
<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/368-2004-%D0%BF#Text> (дата звернення: 11.06.2026)

19. Постанова КМ України від 26.06.2013 «Про затвердження Порядку здійснення навчання населення діям у надзвичайних ситуаціях» від 26 червня 2013 р. № 444. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/444-2013-%D0%BF#Text> (дата звернення: 12.06.2026)

20. Серіков Я.О. Методичні рекомендації до виконання розділу «Охорона праці» в бакалаврських кваліфікаційних роботах для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

21. Серіков Я. О., Білецький І. В., Калюжний Д. М. Охорона праці в галузі електроенергетики. Харків : 2021. ХНУРЕ, 247 с.

22. Серіков Я.О., Коженевські Л. Ф. Безпека життєдіяльності – секюрітологія. Харків: ХНАМГ, 2010.

<https://eprints.kname.edu.ua/18447/1/%D0%A1%D0%B5%D0%BA%D1%8E%D1%80%D0%B8%D1%82%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D0%B8%D1%8F%2B.pdf> (дата звернення: 13.06.2026)

23. Методичні вказівки до самостійної роботи з навчальної дисципліни «Електричне освітлення та опромінення» для здобувачів ступеня вищої освіти

«Бакалавр» зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» - Таврійський державний агротехнологічний університет, 2019. – 65 с / Кушлик Р.В., Кушлик Р.Р. <https://www.tsatu.edu.ua/ettp/wp-content/uploads/sites/25/osvitlennja-metodychka-samostijna-robota-16.04.19-konvertirovan.pdf> (дата звернення: 23.05.2026)

24. Електричне освітлення та опромінення: навч. посіб. для студентів вищ. навч. закл. / Р.В. Кушлик, В. Ф. Яковлев, Ю. М. Куценко, М. Л. Лисиченко, М. П. Кунденко, Ю. М. Федюшко, – Х: ТОВ «Планетапрінт», 2016. - 332 с. Режим доступу: <https://www.tsatu.edu.ua/ettp/wp-content/uploads/sites/25/navch.-posib.chastyna-1.elektrychne-osvitlennja.pdf> (дата звернення: 19.05.2026)