

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(освітній ступінь (освітньо-кваліфікаційний рівень))

на тему: **Проектування системи електричного освітлення школи з
елементами автоматизованого керування**

Виконав: студент 4 курсу, групи ЕТ-42
спеціальності 141

електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(шифр і назва спеціальності)

Кіндрат А. І.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник Лупенко А. М.
(підпис) (прізвище та ініціали)

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

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

Рецензент Голотенко О. С.
(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 Кіндрату Андрію Ігоровичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Проектування системи електричного освітлення школи з елементами автоматизованого керування

Керівник роботи Лупенко Анатолій Миколайович, д.т.н., професор
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 31 » грудня 2025 року № 4/7-1163

2. Термін подання студентом завершеної роботи 20 червня 2026 року

3. Вихідні дані до роботи План будівлі загальноосвітньої школи, стандарти освітлення освітніх закладів, 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 / Мета роботи / Завдання роботи / Практична значущість досліджень.

Нормативні вимоги та сучасні джерела світла. Аналіз протоколів керування освітленням.

Аналіз протоколів керування освітленням. Обґрунтування вибору протоколу DALI.

Світлотехнічні розрахунки. Вибір датчиків та щитів керування. Система електроживлення.

Алгоритм роботи системи автоматизованого керування освітленням у приміщеннях навчального закладу. Очікувані результати та переваги / Висновки

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Безпека життєдіяльності, основи хорони 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)

Кіндрат А. І.

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Лупенко А. М.

_____ (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Кіндрат Андрій Ігорович – Проектування системи електричного освітлення школи з елементами автоматизованого керування.

Стор. – 64; рис. - 20; табл. - 17; джерел - 18; додатків - - .

Кваліфікаційна робота бакалавра присвячена розробленню автоматизованої системи керування освітлювальними навантаженнями школи з метою підвищення енергоефективності системи освітлення та забезпечення нормативних параметрів освітленості.

У роботі проведено аналіз нормативних вимог до освітлення навчальних приміщень, розглянуто сучасні протоколи керування освітленням та обґрунтовано вибір цифрового протоколу DALI для реалізації автоматизованої системи керування. Виконано світлотехнічні розрахунки приміщень навчального закладу, здійснено вибір світлодіодних світильників, датчиків руху, присутності та освітленості, а також розроблено алгоритм функціонування системи автоматизованого керування освітленням.

У проектно-конструкторському розділі обґрунтовано вибір технічних засобів системи, розглянуто принципи її функціонування та особливості застосування в умовах навчального закладу. У роботі також висвітлено питання безпеки життєдіяльності та охорони праці, пов'язані з монтажем, експлуатацією та безпечним використанням системи автоматизованого освітлення.

У результаті виконаної роботи запропоновано технічне рішення, яке дозволяє підвищити енергоефективність освітлювальної системи, покращити умови навчання та знизити непродуктивне споживання електричної енергії.

Перелік ключових слів: АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ, ОСВІТЛЕННЯ, ОСВІТЛЮВАЛЬНІ НАВАНТАЖЕННЯ, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, DALI, СВІТЛОДІОДНІ СВІТИЛЬНИКИ, ДАТЧИК ПРИСУТНОСТІ, ДАТЧИК ОСВІТЛЕНОСТІ.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ	9
1.1 Норми та вимоги до освітлення шкіл	9
1.2 Освітлення навчальних приміщень	11
1.3 Аварійне освітлення	12
1.4 Види систем автоматизації освітлювальних установок	13
1.5 Енергозбереження у системах освітлення	16
1.6 Висновки до розділу 1	16
2 РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ	18
2.1 Протоколи управління освітленням	18
2.1.2 Управління освітленням за допомогою аналогового інтерфейсу	18
2.1.2 Управління освітленням за допомогою протоколу DALI	20
2.1.3 Управління освітленням за допомогою протоколу DMX-512	25
2.1.4 Керування освітленням за допомогою протоколу RDM	26
2.1.5 Управління освітленням за допомогою IP-системи	28
2.1.6 Керування освітленням за допомогою протоколу KNX	29
2.2 Вибір системи автоматичного управління освітленням для загальноосвітньої школи та її обґрунтування	32
2.3 Висновки до розділу 2	33
3 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	35
3.1 Вибір обладнання для автоматизованої системи управління освітленням у загальноосвітньому закладі	35
3.2 Алгоритм функціонування системи автоматизованого керування освітленням	47
3.2.1 Логіка роботи алгоритму для навчального кабінету	49
3.2.2 Логіка роботи алгоритму для коридору	50
3.2.3 Логіка роботи алгоритму для санітарного вузла	51

3.2.4 Обробка допоміжних або невизначених датчиків	52
3.2.5 Завершення циклу та повторне опитування	52
3.2.6 Переваги запропонованого алгоритму	52
3.3 Висновки до розділу 3	53
4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	55
4.1 Електробезпека під час монтажу та експлуатації системи автоматизованого керування освітленням	55
4.2 Забезпечення безпечних та комфортних умов праці й навчання за рахунок раціональної організації освітлення	58
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	62
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	63

ВСТУП

У сучасних умовах розвитку електроенергетики одним із ключових напрямів є підвищення ефективності використання електричної енергії та впровадження енергозберігаючих технологій. Для України питання раціонального використання електроенергії набуло особливої актуальності у зв'язку з необхідністю зменшення енергетичної залежності, підвищенням вартості енергоресурсів, а також значними пошкодженнями енергетичної інфраструктури, що виникли внаслідок військових дій. У таких умовах важливим завданням є оптимізація споживання електричної енергії, особливо на об'єктах соціальної інфраструктури, до яких належать навчальні заклади.

Значну частку електроспоживання громадських будівель становлять системи освітлення. За результатами енергетичних досліджень, у будівлях освітнього призначення витрати електроенергії на освітлення можуть становити до 40–60 % від загального електроспоживання. При цьому більшість будівель шкіл в Україні була побудована у 1960–1980-х роках за типовими проектами і обладнана застарілими освітлювальними системами, що використовують люмінесцентні або лампи розжарювання. Такі системи характеризуються низькою енергоефективністю, значними втратами електричної енергії та недостатньою якістю освітлення.

Одним із найбільш ефективних напрямів зменшення споживання електричної енергії є модернізація освітлювальних установок із застосуванням світлодіодних світильників та автоматизованих систем керування освітленням. Використання світлодіодних джерел світла дозволяє значно знизити споживання електроенергії, підвищити світлову віддачу та збільшити термін служби освітлювальних приладів. Додатковий ефект енергозбереження забезпечується впровадженням систем автоматичного керування освітленням, які дозволяють регулювати роботу освітлювальних приладів залежно від рівня природного освітлення, наявності людей у приміщенні або встановлених сценаріїв роботи.

Сучасні автоматизовані системи керування освітленням базуються на

використанні цифрових протоколів управління, таких як DALI (Digital Addressable Lighting Interface), KNX, DMX-512, RDM, а також IP-систем. Застосування таких технологій дозволяє забезпечити централізоване або групове керування освітлювальними приладами, автоматичне регулювання рівня освітленості, дистанційний моніторинг роботи обладнання та своєчасне виявлення несправностей.

При проектуванні систем освітлення навчальних закладів необхідно враховувати вимоги нормативно-технічних документів, які регламентують параметри освітленості, безпеку та енергоефективність освітлювальних установок. До основних нормативних документів, що застосовуються при проектуванні систем освітлення в Україні, належать ДБН В.2.5-28:2018 «Природне і штучне освітлення», ДСТУ EN 12464-1:2014 «Світло та освітлення. Освітлення робочих місць у приміщеннях», а також Правила улаштування електроустановок (ПУЕ). Дотримання цих вимог забезпечує необхідний рівень освітленості, безпечні умови перебування людей у приміщеннях та ефективне використання електричної енергії.

Важливим фактором також є підвищення енергетичної стійкості будівель, особливо у періоди можливих обмежень електропостачання або аварійних відключень. Використання автоматизованих систем керування дозволяє оптимізувати режими роботи освітлення, зменшити навантаження на електричну мережу та забезпечити більш ефективне використання електроенергії.

Таким чином, розроблення та впровадження автоматизованих систем керування освітлювальними навантаженнями у навчальних закладах є актуальним завданням, спрямованим на підвищення енергоефективності, зменшення експлуатаційних витрат та покращення умов освітлення навчальних приміщень.

Метою кваліфікаційної роботи є підвищення ефективності системи електричного освітлення загальноосвітнього навчального закладу шляхом розроблення автоматизованої системи керування освітлювальними навантаженнями.

Об'єкт дослідження – система електричного освітлення будівлі загальноосвітнього навчального закладу.

Предмет дослідження – методи та технічні засоби автоматизованого керування освітлювальними навантаженнями з використанням сучасних систем автоматизації.

Для досягнення поставленої мети у роботі необхідно вирішити такі завдання дослідження:

- провести аналіз сучасних систем автоматизованого керування освітленням;
- розглянути нормативні вимоги до освітлення навчальних приміщень;
- дослідити сучасні протоколи керування освітлювальними системами;
- виконати вибір обладнання для автоматизованої системи керування освітленням;
- розробити алгоритм керування освітлювальним навантаженням;
- виконати розрахунок освітлення приміщень навчального закладу;
- провести техніко-економічне обґрунтування впровадження системи автоматизованого керування освітленням.

Реалізація запропонованих у роботі технічних рішень дозволить підвищити енергоефективність систем освітлення навчальних закладів, зменшити споживання електричної енергії та забезпечити відповідність параметрів освітлення сучасним нормативним вимогам.

1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Норми та вимоги до освітлення шкіл

Освітлення навчальних приміщень є важливим фактором, який безпосередньо впливає на ефективність навчального процесу, працездатність учнів та їхній фізіологічний стан. Недостатній або неправильно організований рівень освітлення може призводити до швидкої втомлюваності, зниження концентрації уваги, погіршення зору та підвищення ризику травматизму. Саме тому системи освітлення у навчальних закладах повинні проектуватися відповідно до вимог чинних нормативних документів.

В Україні основними нормативними документами, що регламентують вимоги до освітлення навчальних приміщень, є:

- ДБН В.2.5-28:2018 «Природне і штучне освітлення»
- ДСТУ EN 12464-1:2014 «Світло та освітлення. Освітлення робочих місць у приміщеннях»
- Правила улаштування електроустановок (ПУЕ)
- санітарні норми щодо освітлення навчальних приміщень.

Згідно з цими документами освітлення у навчальних закладах повинно:

- забезпечувати нормативний рівень освітленості робочих поверхонь;
- забезпечувати рівномірний розподіл світлового потоку;
- забезпечувати відсутність сліпучого ефекту;
- забезпечувати правильну передачу кольорів;
- забезпечувати мінімальний коефіцієнт пульсації світлового потоку;
- забезпечувати енергоефективність та безпечність експлуатації освітлювальних установок.

При проектуванні освітлення враховують кілька основних світлотехнічних параметрів:

Освітленість (E) – кількість світлового потоку, що падає на одиницю площі.

Рівномірність освітлення – співвідношення мінімальної та середньої освітленості.

Індекс передачі кольору (Ra) – здатність джерела світла правильно передавати кольори.

Колірна температура світла.

Коефіцієнт пульсації світлового потоку.

Нормативні значення освітленості для різних приміщень навчальних закладів наведені у таблиці.

Таблиця 1.1 – Нормовані значення освітленості у приміщеннях шкіл

Приміщення	Нормована освітленість, лк
Навчальні класи	500
Кабінети інформатики	400
Кабінети креслення	500
Лабораторії	400
Бібліотеки	300
Кабінети викладачів	300
Спортивні зали	200
Актові зали	200
Коридори	150
Сходові клітини	150
Санвузли	75
Підсобні приміщення	50

Такі значення забезпечують достатній рівень освітлення для виконання навчальної роботи без перевантаження органів зору.

Вимоги до параметрів світлового середовища

Таблиця 1.2 – Нормативні параметри освітлення

Приміщення	Значення
Освітленість робочої поверхні	300 – 500 лк
Рівномірність освітлення	$\geq 0,6$
Індекс передачі кольору	≥ 80
Колірна температура	3000 – 5000 К
Коефіцієнт пульсації	$\leq 5 \%$

1.2 Освітлення навчальних приміщень

Природне освітлення є найбільш комфортним для органів зору. При проектуванні шкільних будівель вікна розташовуються таким чином, щоб забезпечити достатній рівень природного освітлення.

Основним показником природного освітлення є коефіцієнт природної освітленості (КПО).

Таблиця 1.3 – Нормативні значення КПО

Приміщення	КПО
Навчальні класи	$\geq 1,5 \%$
Кабінети	$\geq 1,5 \%$
Спортивні зали	$\geq 1 \%$
Коридори	$\geq 0,5 \%$

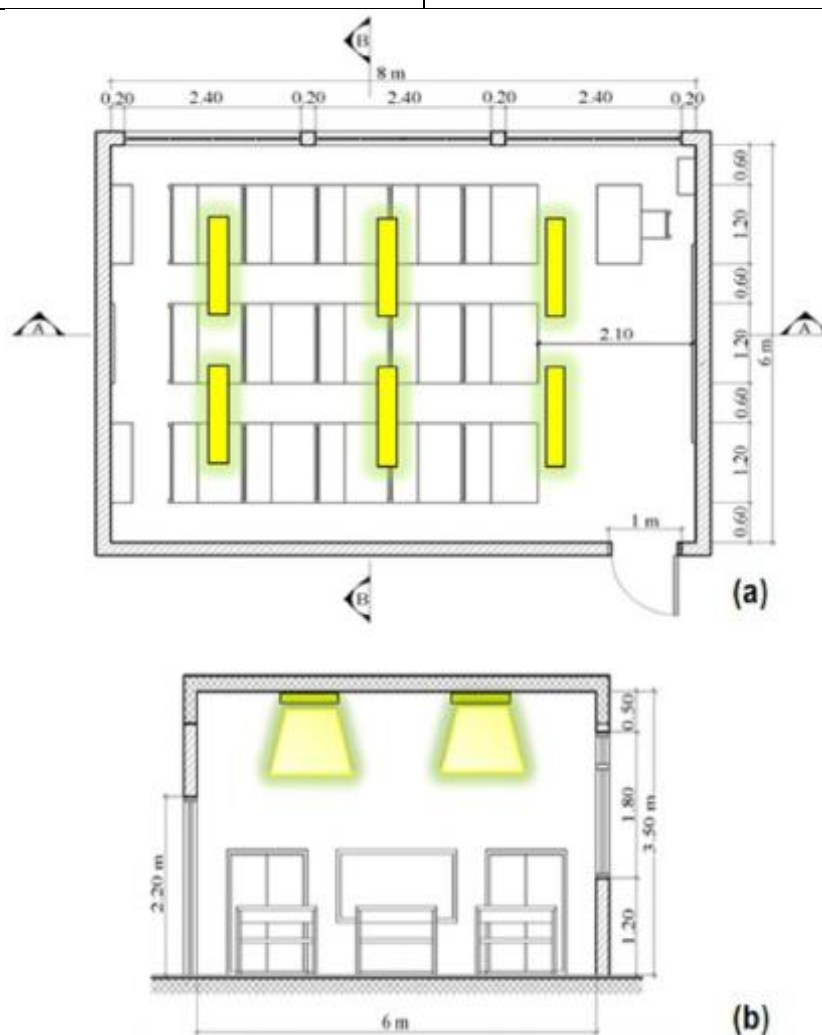


Рисунок 1.1 – Схема освітлення класу

У навчальних приміщеннях світло повинно падати зліва від учнів, що дозволяє уникнути утворення тіні під час письма.

При штучному освітленні світильники розташовують рівномірно по всій площі приміщення.

Основні принципи розміщення світильників

- рівномірне розташування;
- відстань між світильниками приблизно 1–1,5 висоти приміщення;
- розміщення паралельно до вікон;
- уникнення сліпучого ефекту.

Джерела світла для навчальних приміщень

Раніше у школах використовувалися люмінесцентні лампи. Сучасні освітлювальні системи все частіше застосовують **світлодіодні світильники**.

Таблиця 1.4 – Порівняння джерел світла

Параметр	Люмінесцентні	Світлодіодні
Світлова віддача	60 – 90 лм/Вт	100 – 150 лм/Вт
Термін служби	10 – 15 тис. год	50 тис. год
Енергоспоживання	середнє	низьке
Екологічність	містять ртуть	безпечні
Пульсація світла	висока	мінімальна

Таким чином, застосування LED-світильників дозволяє знизити споживання електроенергії до **40–60 %**.

1.3 Аварійне освітлення

Згідно з вимогами нормативних документів у будівлях навчальних закладів обов'язково передбачають систему аварійного освітлення.

Аварійне освітлення поділяється на:

- евакуаційне
- резервне.

Таблиця 1.5 – Нормативи аварійного освітлення

Приміщення	КПО
Шляхи евакуації	1 лк
Сходи	5 лк
Великі приміщення	0,5 лк

1.4 Види систем автоматизації освітлювальних установок

«Інтелектуальні» системи управління освітленням призначені зниження споживання електричної енергії освітлювальними установками і застосовуються разом із LED світильниками задля досягнення найбільшого ефекту (економія понад 50%). До функціоналу таких систем входить:

- запрограмований час включення/вимкнення та регулювання яскравості світильників залежно від пори року та часу доби, дня тижня, святкових та вихідних днів. Все це може відстежуватися в режимі реального часу за допомогою підключення до Інтернету;

- підтримка запрограмованого рівня освітленості у приміщенні. Ця функція здійснює свою роботу за допомогою датчика освітленості, який враховує штучну та природну освітленість у приміщенні, таким чином датчик може проводити регулювання яскравості світильників окремої групи або одного світильника. Завдяки цьому відсутня зайва освітленість приміщення і цим знижується споживання електричної енергії. На рис. 1.2 показано схему підключення датчика освітленості;

- можливість визначати присутність людей у приміщенні та працювати за певним сценарієм у різних випадках. Функціонує за допомогою датчиків руху чи присутності. Датчик руху має маленьку чутливість тому його найчастіше застосовують у місцях з великим потоком людей (коридори, сходові майданчики і т.д), а датчик присутності має високу чутливість і спрацьовує на найменші рухи, тому їх встановлюють там, де люди постійно (офіс, кабінет, клас, і т.д.). На рис. 1.3 представлена схема підключення датчика руху/присутності;

- можливість керування освітленням віддалено, наприклад, за допомогою смартфона, планшета або будь-якого комп'ютера, що має доступ до Інтернету. Ця система може зберігати всю інформацію на сервері, що дозволить виконувати налаштування без будь-яких проблем. На малюнку 3 наведено приклад, як може виглядати інтерфейс системи управління освітленням у програмному комплексі;
- можливість проводити самодіагностику та попереджати про несправності якогось світильника або групи світильників, що сильно спрощує та прискорює ремонтні роботи, адже заздалегідь відомо який саме пристрій вийшов з ладу.

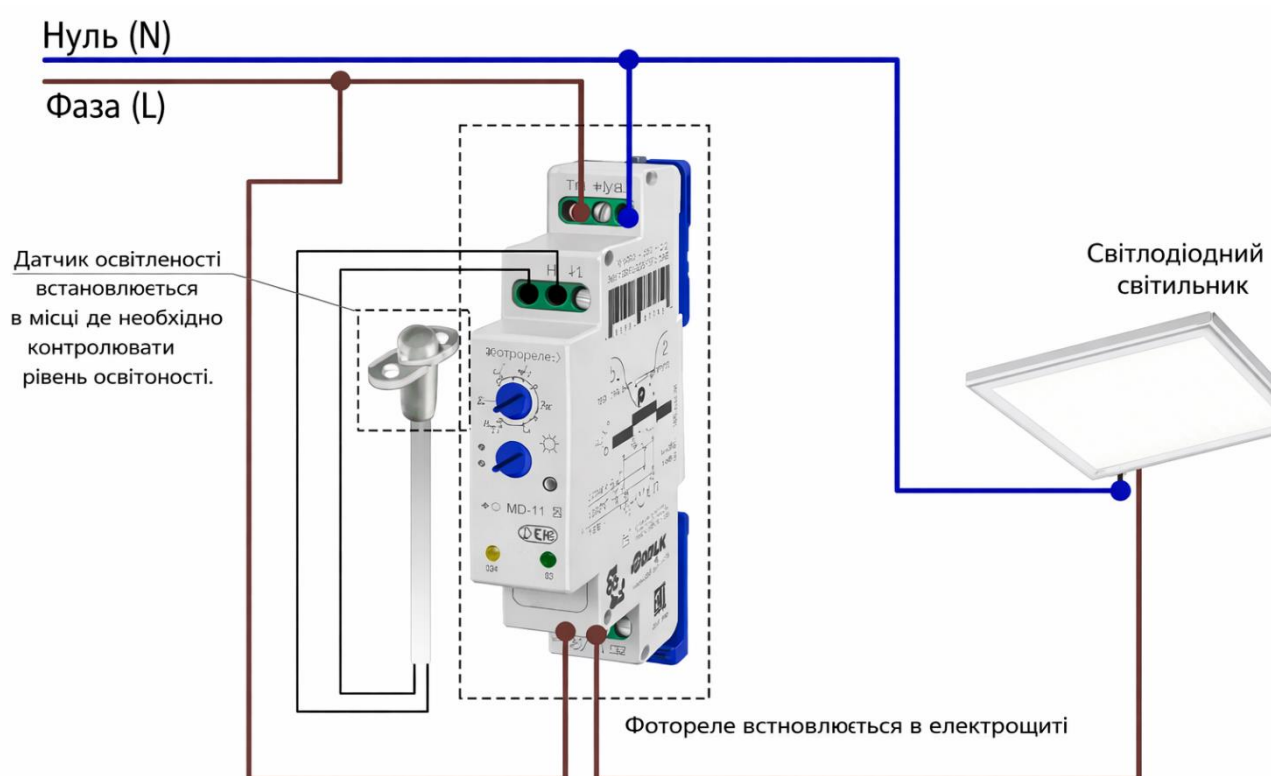


Рисунок 1.2 – Підключення датчика освітленості.

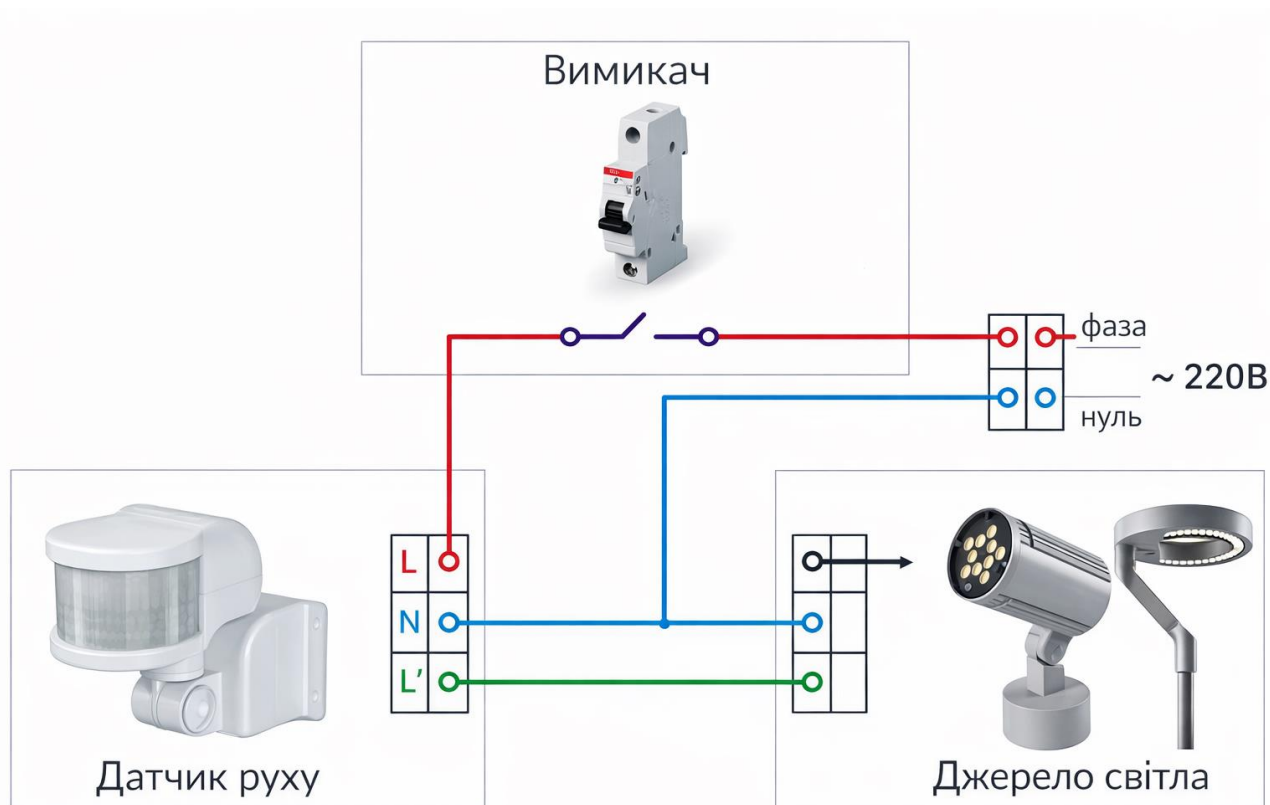


Рисунок 1.3 – Підключення датчика руху/присутності до джерела світла.



Рисунок 1.4 – Система керування освітленням для смартфона/планшета

В даний час існує досить велика кількість різних протоколів управління, основні з них:

- аналогове керування 1-10 В,
- DALI,
- DMX-512,
- RDM,
- IP-системи,
- KNX.

Для докладнішого вивчення розглянемо в наступному розділі ці протколи окремо.

1.5 Енергозбереження у системах освітлення

Основні заходи підвищення енергоефективності:

- використання LED-світильників;
- застосування датчиків руху;
- використання датчиків освітленості;
- автоматичне вимкнення світла у відсутності людей;
- програмування режимів роботи.

Застосування цих заходів дозволяє зменшити споживання електроенергії до **50–60 %**.

1.6 Висновки до розділу 1

У даному розділі проведено аналіз нормативних вимог та особливостей організації освітлення навчальних приміщень. Розглянуто основні світлотехнічні параметри освітлення та нормативні значення освітленості для різних типів приміщень навчальних закладів.

Проаналізовано особливості природного та штучного освітлення, а також принципи розміщення світильників у навчальних приміщеннях. Встановлено,

що застосування сучасних світлодіодних світильників забезпечує вищу енергоефективність, триваліший термін служби та зменшення споживання електричної енергії.

Розглянуто системи аварійного освітлення та сучасні засоби автоматизації освітлювальних установок, зокрема використання датчиків руху, датчиків освітленості та систем керування освітленням. Застосування таких рішень дозволяє підвищити енергоефективність освітлення та зменшити витрати електроенергії.

Таким чином, проведений аналіз підтверджує доцільність використання енергоефективних світлодіодних світильників та автоматизованих систем керування освітленням у навчальних закладах

2 РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ

2.1 Протоколи управління освітленням

2.1.2 Управління освітленням за допомогою аналогового інтерфейсу

Освітленням можна керувати за допомогою зміни напруги, що подається. Цей метод управління є одним із найперших і при цьому простим у здійсненні регулювання світлового потоку освітлювальної установки (приладу). Інтервал напруги, що змінюється, за фактом може бути будь-яким, незважаючи на це через деякий час найпоширенішим діапазоном регулювання став 0 - 10 В. Метод заснований на зміні сили світла пропорційно напрузі.

Для управління світловим потоком застосовувалися автотрансформатори, але це було лише для перших систем управління. У 60-ті роки ХХ століття з'явилися тиристорні системи аналогового управління, які дозволяли регулювати світловий потік віддалено. Регулювання освітлювального приладу проводилося за допомогою відносно невеликої консолі.

Вже до середини 70-х років минулого століття було розроблено та впроваджено стандарт єдиного діапазону регулювання напруги 0-10 В. Параметр «0 В» означав, що освітлення відключено, а «10 В» володів 100% потужністю. Таким чином, даний інтерфейс є одностороннім зв'язком між пристроєм регулювання яскравістю освітлення (диммером) і освітлювальним приладом.

На практиці не рідко зустрічаються (димери) з параметрами 1-10 В, де «1 В» означає найменшу потужність, а для повного відключення світла необхідно розірвати електричний ланцюг 220 В, для цього регулятори освітлення додають кнопку вимкнення. Як правило, струм керуючого впливу знаходиться в межах від 1 мА до 4мА. Для керування світлодіодними світильниками використовується спеціальний драйвер. Принцип управління заснований на отриманні сигналу керуючого через внутрішній світлодіодний драйвер і зовнішнього диммера (потенціометра). Схема підключення зображена на рис. 2.1.

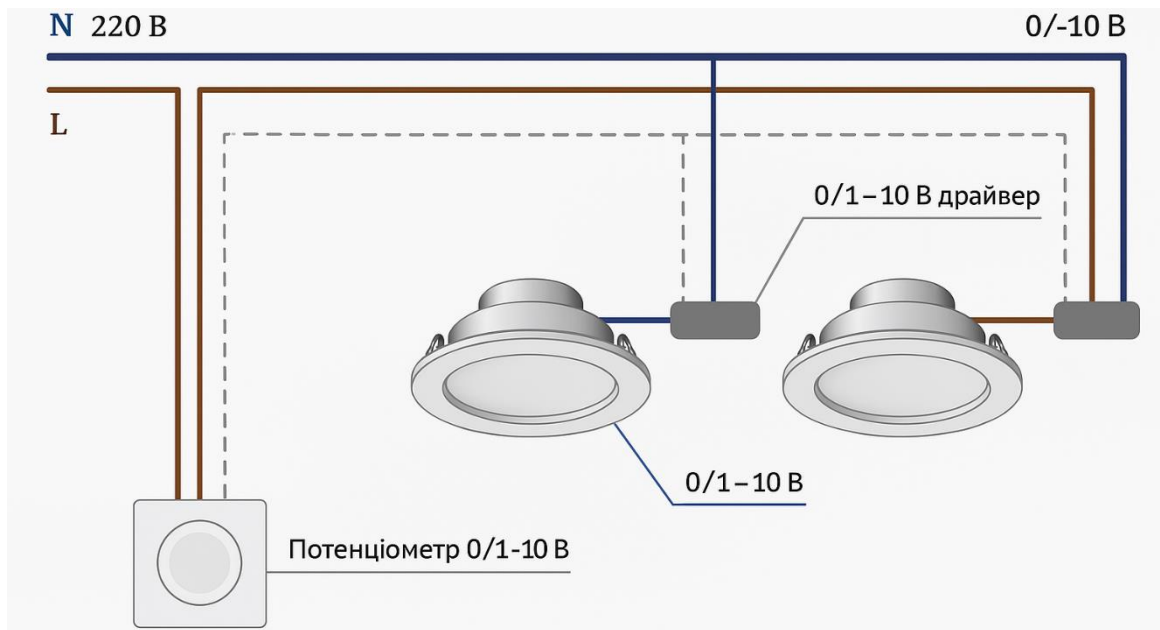


Рисунок 2.1 –Управління освітлювальними приладами за протоколом 0-10 В.

Перевагою даного інтерфейсу є простота його виконання та використання, а також вартість. Для керування освітленням потрібно всього дві лінії: загальний зворотний провід і зовнішній сигнал керування.

Для керуючого дроту, краще використовувати екранований кабель, щоб уникнути перешкод від силового кабелю.

Головним недоліком аналогового управління є те, що для кожного регульованого світильника потрібно два кабелі, отже, при використанні цього інтерфейсу з великою кількістю світильників потрібна відповідна кількість ліній і кабелів, що призводить до сильної дорожнечі та незручності експлуатації ліній, оскільки утруднена діагностика та усунення несправностей. Ще одним недоліком є нестабільність сигналу під час передачі його на великі відстані. При падінні напруги необхідно компенсувати втрати з боку пристрою. Оскільки світильник прийматиме слабший сигнал по відношенню до початкового, що призведе до більш тьмяного освітлення або нерівномірного освітлення в системі з декількома освітлювальними приладами. Також аналоговий сигнал схильний до зовнішніх перешкод і зі збільшенням відстані на яке передається сигнал зменшується перешкодозахищеність. Перешкоди негативно впливають на сигнал, що надходить по керуючому кабелю, що призводить до мерехтіння.

У сукупності всіх перерахованих вище переваг і недоліків можна зробити висновок, що даний метод управління освітленням можна застосовувати для невеликої кількості керованих світильників. Для великої кількості світильників метод регулювання не застосовується, тому що він не забезпечує необхідної стабільності і не дозволяє мати двосторонній зв'язок. На зміну йому прийшли цифрові протоколи управління освітлювальним навантаженням, які дозволяють розкрити весь потенціал автоматичного керування освітленням.

2.1.2 Управління освітленням за допомогою протоколу DALI

Протокол управління освітлювальним навантаженням DALI був розроблений такими компаніями як Helvar, Philips і Tridonic для зміни аналогового інтерфейсу AVC 1-10 В. Спочатку він застосовувався тільки для люмінесцентних світильників з баластом. Потім стандарт було розширено і у нього з'явилася можливість керування світлодіодними світильниками. Ці зміни відбулися наприкінці 2009 року. Дуже важливим моментом є те, що цей протокол відкритий і його може використовувати будь-який виробник освітлювальних приладів. У протоколі DALI дані передаються двома лініями (рис 2.2)

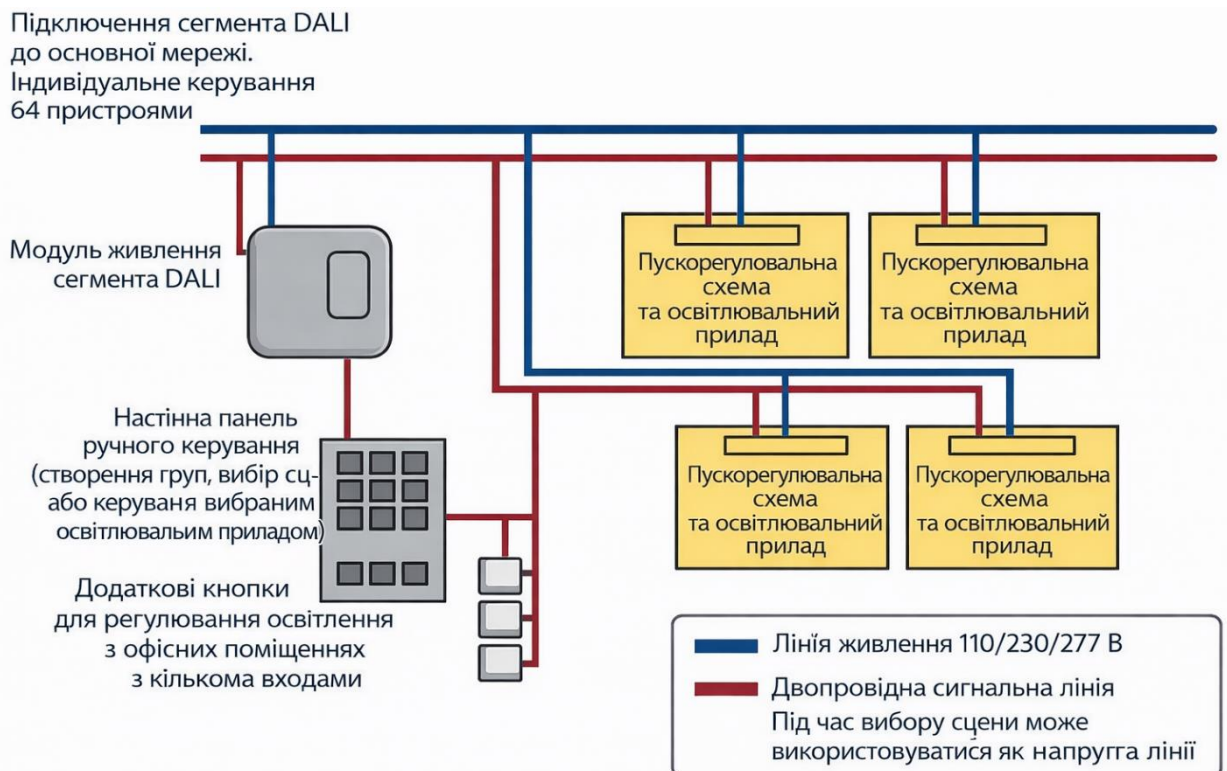


Рисунок 2.2 – Передача даних через мережу управління DALI

Основним завданням протоколу DALI є управління силовими навантаженнями та всім освітленням в цілому. Цей протокол може вирішувати багато завдань для світлодіодних світильників. Також у нього входять різні димери, датчики присутності, датчики освітленості тощо.

Особливості DALI:

- дані передаються загальною всім пристроїв шині;
- передача даних здійснюється у дві сторони;
- для передачі даних використовуються два дроти;
- допускається розміщення проводів одному кабелі з живленням ~220 У, тобто. фаза, нуль, земля та два дроти шини DALI;
- не потрібне дотримання полярності при підключенні шини;
- DALI – не високошвидкісна мережа;
- допускається будь-яка топологія, на відміну протоколу DMX, у якому допускається лише сполуки типу «промінь»;
- DALI передбачає захист від підключення живлення до шин.

До шини DALI підключаються керуючі та виконуючі пристрої, схема підключення зображена на рис. 2.3.

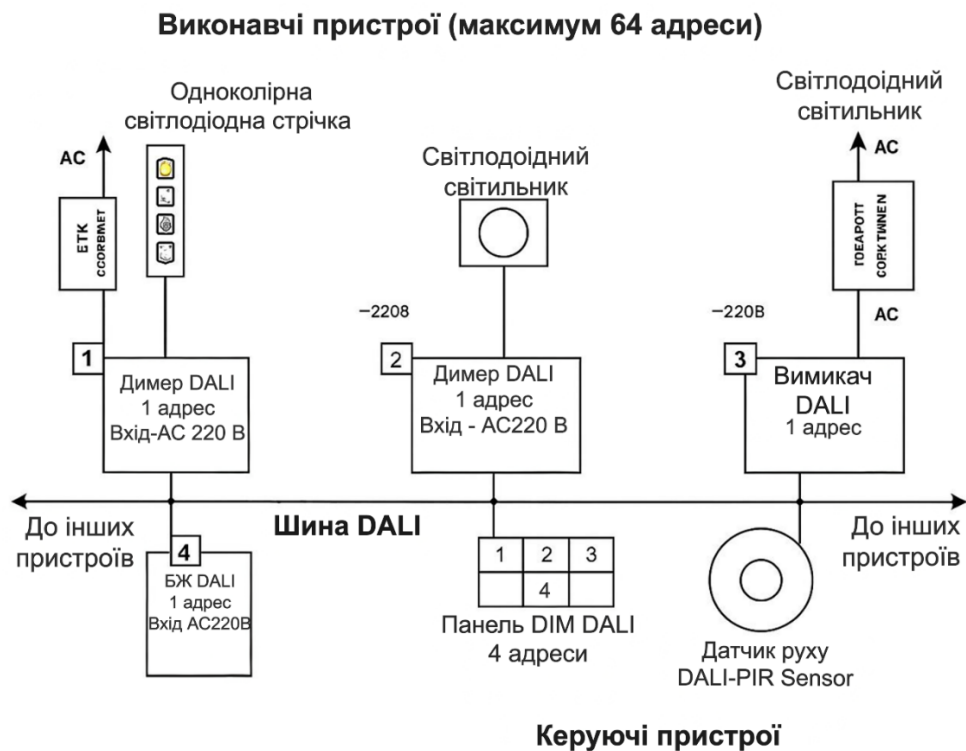


Рисунок 2.3 – Схема підключення пристроїв DALI

До однієї шини управління можна підключити максимально 64 виконуючі пристрої. Кожен пристрій має свою унікальну адресу для визначення в мережі DALI. Адреса може задаватися вручну, або автоматично спеціальним майстер-контролером при програмуванні всієї системи.

Кількість унікальних адрес може досягати до 12800, за рахунок об'єднання до 200 ліній DALI за допомогою спеціальних роутерів системи DALI.

Потрібно врахувати, що до однієї шини управління можна підключити необмежену кількість керуючих пристроїв. Наприклад, вимикачі, димери, панелі керування та різні датчики. При цьому обов'язково потрібно врахувати, що деякі пристрої, що управляють, живляться безпосередньо від шини DALI, зазвичай цей струм становить 2–4 мА. Також у системі DALI відсутня центральний контролер, що її відмінною рисою від системи DMX.

Обов'язковою умовою живлення системи DALI є постійна напруга від 16 до 18 В номіналом. Даний діапазон напруги забезпечує блок живлення, який підключений до шини. Важливою умовою є, що на одній шині – один блок живлення. Деякі моделі майстер-контролерів мають можливість самостійно забезпечувати постійну напругу потрібного діапазону в шині. Відповідно до стандарту, струм у шині не повинен перевищувати 250 мА.

Від величини поперечного перерізу кабелю залежить дальність передачі. Для кращого візуального сприйняття занесемо дані перерізу кабелю та дистанції передачі сигналу таблицю 2.1.

Таблиця 2.1 – Залежність дальності передачі сигналу від перерізу кабелю

Перетин мідного кабелю, мм ²	Дальність передачі сигналу, м
0,5 мм ²	До 100 м
0,75 мм ²	Від 100 до 150 м
1,5 мм ²	Від 150 до 300 м

При цьому, згідно стандарту протоколу, максимальна втрата сигналу повинна бути не більше 2 В при струмі 250 мА. Це обов'язково враховувати під час виборів кабельної продукції.

Кожен пристрій має 16 передумовок із заданою у кожній різним сценарієм управління. Інформація про різні сцени (передумовки) записується в них під час програмування системи.

Кожен пристрій має незалежну пам'ять, в якій зберігаються всілякі налаштування. Налаштування включають:

- адресу пристрою (від 0 до 63);
- прив'язка до груп (від 0 до 15);
- сцени (від 0 до 15), пристрій може бути внесено всі 16 сцен;
- рівень яскравості освітлення після подачі живлення (від 0 до 254);
- обмеження мінімального та максимального рівня яскравості при зміні яскравості освітлення (від 0 до 254);
- рівень яскравості освітлення при перериванні лінії керування, наприклад, при аварійному освітленні (від 0 до 254);
- швидкість зміни яскравості.

Керуючі пристрої DALI діляться на 3 групи:

- керуючі за адресами;
- керуючі групами;
- керуючі сценами.

Деякі пристрої є універсальними і можуть виконувати функції всіх 3 груп.

Схема підключення елементів у системі DALI зображена на рис. 2.4

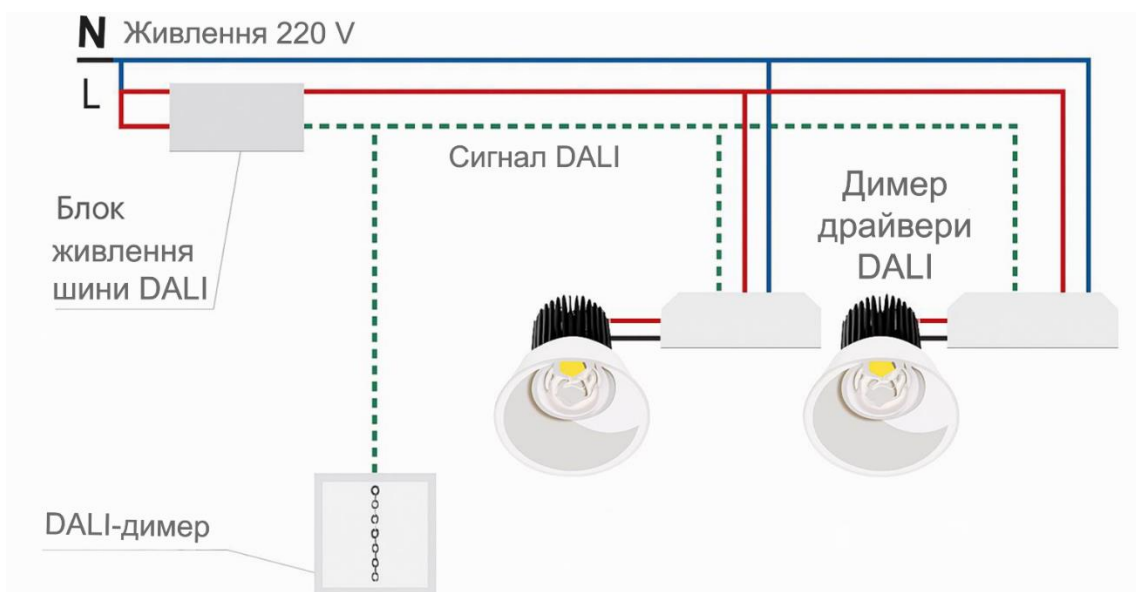


Рисунок 2.4 – Приклад схеми підключення пристроїв до системи DALI

Протокол DALI передбачає такі команди, щоб мати можливість опитувати статус пристроїв. У відповідь пристрій може передати такі дані як стан пристрою; поточний рівень яскравості; справність підключеного елемента освітлення; тип пристрою і т.д

При монтажі електричної проводки використовуються кабелі з 4 або 5 жилами, дві з яких використовує лінія DALI (CCW, KIT). Кабель, що використовується для монтажу системи DALI, зображений на рис. 2.5.

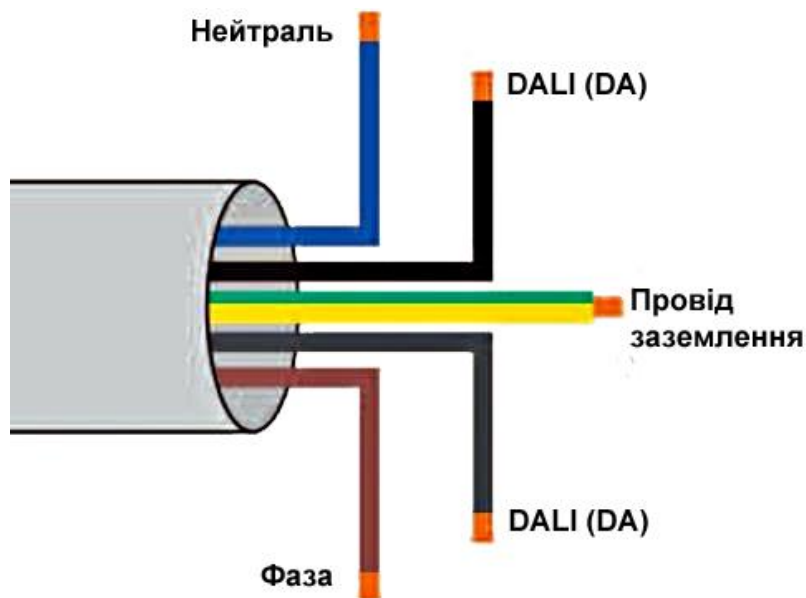


Рисунок 2.5 – Позначення жил кабелю для системи DALI

Перевагами системи DALI є:

- доступність системи;
- висока надійність;
- відмінна гнучкість у керуванні окремими пристроями, групами, шинами.
- легко інтегрується до інших автоматизованих систем будівлі;
- не потрібно дотримуватись полярності при підключенні, що сильно полегшує монтаж;
- відсутність центрального контролера;
- кабелі не потребують екранування;

- двосторонній обмін даними між контролерами та лампами дозволяє проводити моніторинг системи в режимі on-line;
- можливість використання у приміщеннях різної площі.
- сильні шуми не надають на систему негативного впливу. Єдиним суттєвим недоліком системи DALI є висока ціна контролерів, але всі перераховані вище переваги з легкістю перекривають даний недолік. До того ж система DALI набирає все більшої популярності у різних компаній виробників за рахунок відкритого протоколу, що надалі принесе зниження вартості за рахунок великих обсягів і конкуренції на ринку.

2.1.3 Управління освітленням за допомогою протоколу DMX-512

Цей стандарт був розроблений комітетом USITT в 1986 році для цифрових мереж передачі даних. Переважно розробка велася для керування світлодіодними світильниками. Для управління в цьому протоколі використовується диференціальний сигнал EIA-485, більш відомий як RS-485 та пакетна передача даних. Негативним моментом є те, що обмін даними можливий лише в одному напрямку, а також відсутня перевірка та виправлення помилок.

Даний стандарт дозволяє виконувати управління по одній лінії зв'язку відразу 512 каналами, але потрібно врахувати, що це не 512 різних приладів, часто один прилад може використовувати кілька десятків каналів. Стандартом не рекомендується підключати до однієї лінії понад 32 прилади.

Передача даних у контролера DMX-512 асинхронна та відбувається зі швидкістю 250 кБод. По всіх 512 каналах дані передаються приблизно 23 мс, це відповідає частоті 44 Гц. Для передачі даних із більшою частотою пересилання здійснюється за меншою кількістю каналів.

Протокол DMX-512 дуже поширений, за рахунок кількох причин, таких як:

- простота виконання;
- висока надійність;
- інтерфейс RS-485
- існує можливість керувати кількома групами

світильників за трьома проводами;

- низька вартість приладів;
- інтерфейс керування ізольований від світильника, отже, захищений.

Стандарт EIA485 може працювати лише із системою, у якій усі світильники з'єднані послідовно. Як було сказано раніше, в одній лінії може бути не більше 32 пристроїв, загальна довжина сполучного кабелю може досягати 1 км, але на практиці краще обмежити цю довжину до 500 метрів або використовувати повторювачі (підсилювачі сигналу). Для мереж великою довжиною дуже важливою є якість кабельної продукції. Опір кабелю повинен забезпечувати отримання не менше 0,2 на термінувальному резисторі 120 Ом на віддаленому кінці лінії при напрузі 2 на передавальному пристрої. Перетин кабелю має становити щонайменше 0,22 мм².

Єдиний недолік, яким володіє протокол DMX-512, це відсутність двосторонньої передачі даних. Отже, неможливо проводити моніторинг освітлювальних приладів і відстежувати елементи, що вийшли з ладу.

2.1.4 Керування освітленням за допомогою протоколу RDM

Протокол RDM є модернізованим протоколом DMX-512. Цей протокол був створений компанією ESTA у рамках програми розробки технічних стандартів. Головною відмінністю від DMX є наявність двостороннього опитування, це означає, що даний протокол дозволяє отримувати різні дані від джерела світла, наприклад, струм, час роботи, напруга в мережі, індекс кольору, робочу температуру і безліч інших параметрів. Також за допомогою даного протоколу можливе конфігурування, керування RDM-пристроями та моніторинг статусу в режимі реального часу. Відмінною рисою і те, що це можливо здійснювати, не заважаючи основній роботі DMX-пристроїв.

Сильною стороною протоколу RDM полягає в тому, що він сумісний з DMX-512 і дозволяє використовувати вже існуючу інфраструктуру.

Перевагами системи RDM є:

- можливість оновлювати програмне забезпечення через інтерфейс RS485;
- є можливість встановлювати базову адресу світильника, отже, позбавляє необхідності надавати адреси вручну;
- можливість створити систему з підтримкою протоколу Ethernet;
- можливість керувати окремими пристроями чи групою;
- є можливість керувати одночасно всіма пристроями що знаходяться в одній мережі;
- передача статусних повідомлень від одного або декількох пристроїв, наприклад, про те, що стався збій;
- автоматичне затемнення всіх світильників під час вибору відповідної сцени;
- є функція автоматичного розпізнавання всіх освітлювальних установок;
- можливість встановлення швидкості згасання;

Але за всіх переваг цього протоколу RDM, існують істотні недоліки, через які протокол не набув широкого поширення. Цими недоліками є:

- дуже невелика кількість світлодіодних драйверів, які підтримують цей протокол;
- висока вартість електронних схем;
- не вистачає контролерів, які здатні використовувати додаткову потужність ком-пристроїв, звідси впливає висока ціна.

Так як цей стандарт все-таки є досить хорошим рішенням в управлінні світлотехнічними пристроями, компанії ведуть роботу над усуненням перелічених вище недоліків, тому в перспективному майбутньому стандарт може стати одним з основних.

2.1.5 Управління освітленням за допомогою IP-системи

Більшість сучасних пристроїв мають можливість обмінюватися різними даними через мережу інтернету. Тепер ця технологія поступово починає використовуватися і в системах освітлення.

Нині розробляється мережевий протокол ACN (Architecture for Control Networks). Він буде керувати освітлювальними приладами по IP-мережі. Зв'язок буде здійснюватися за недорогими стандартними лініями Ethernet або навіть Wi-Fi. Протокол є надбудовою UDP/IP.

Кожен пристрій має унікальний номер, за яким спеціальний контролер визначає підключені пристрої. До того ж до кожного підключеного пристрою додається файл із описом усіх функцій та можливостей освітлювального пристрою. Завдяки цьому контролер заздалегідь має можливість керувати світильниками, які з'являться у найближчому та далекому майбутньому. Мережевий протокол ACN є двонаправленим. Приклад системи з IP-системою управління наведено на рис. 2.6.

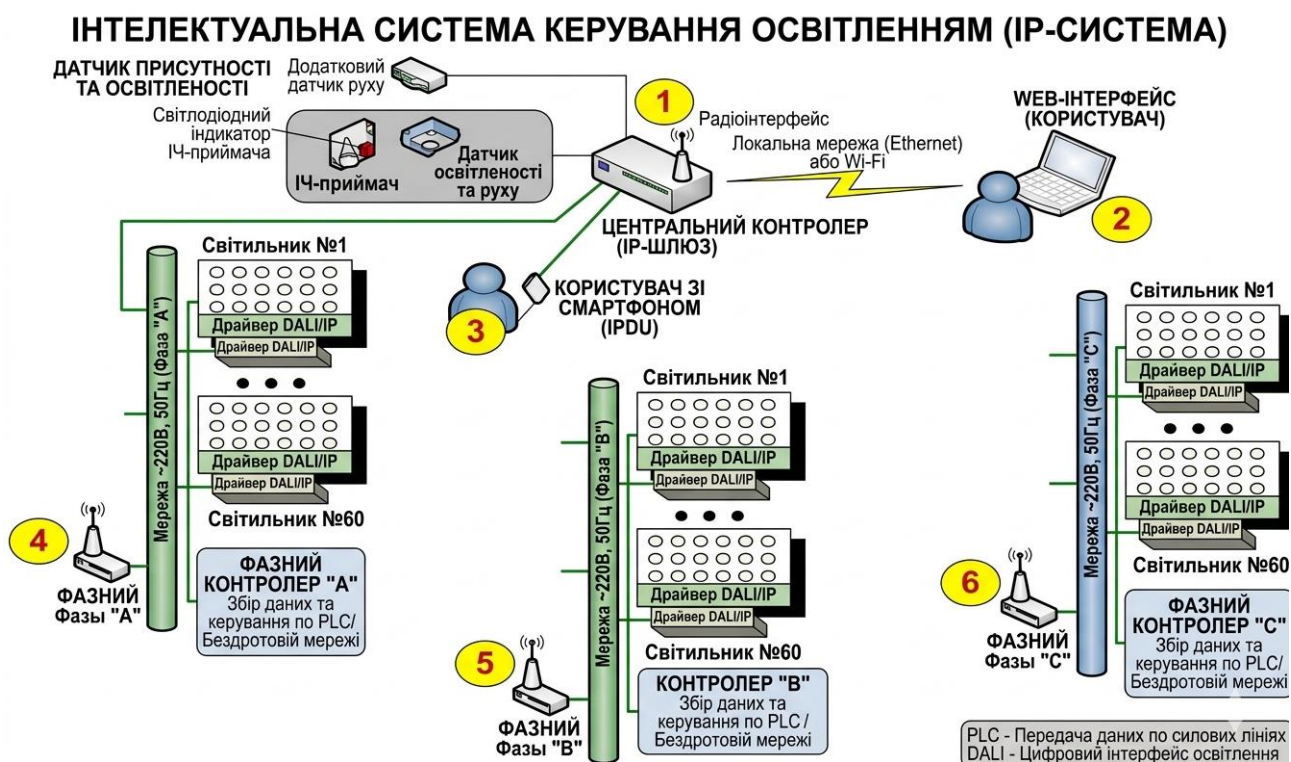


Рисунок 2.6 – Схема керування за допомогою IP-системи

Розглянемо переваги використання IP-системи:

- висока швидкість передачі;
- стійкість до появи помилок;
- низька вартість інфраструктури;
- простота конфігурування;
- має сумісність з Ethernet протоколами, що дозволяє керувати освітлювальним навантаженням віддалено;
- дуже велика масштабованість, має можливість практично нескінченної кількості мереж.

Звичайно ж, дана система також має свої недоліки:

- можливі хакерські атаки на систему керування освітленням, що може спричинити не лише повну втрату освітлення, але й призвести до різних травм, особливо у темний час доби;
- перебої у роботі в мережі Ethernet отже, відсутність роботи системи на період усунення несправностей.

2.1.6 Керування освітленням за допомогою протоколу KNX

Протокол KNX був розроблений на трьох стандартах: EIB (European Installation Bus), EHS (European Home Systems) та BatiBUS. Система KNX не має центрального контролера, тобто децентралізована.

Метод передачі з урахуванням пріоритетів (CSMA/CA) забезпечує належним чином безконфліктний обмін даними без втрати швидкості передачі з усім обладнанням KNX. Відмінною рисою протоколу KNX є сумісність із різними продуктами різних виробників, які підтримують протокол KNX рахунок єдиної програми ETS (Engineering Tool Software).

Обмін інформацією відбувається по спеціалізованій шині або простій кручений парі. Однією шиною поєднуються всі пристрої системи. Система є двоспрямованою, що є великою перевагою. У протоколі KNX будь-який пристрій має свою унікальну адресу, тому вони можуть об'єднуватися в різні групи незалежно від розташування. Також існують інші способи передачі (не по

- максимальна довжина кабелю в одному сегменті – 1000 м;
- максимальна відстань від блока живлення до приладу (пристрою) складає 350 метрів;
- між двома пристроями повинно бути більше 700 метрів;
- мінімальна напруга на пристроях – 21 В.

За допомогою спеціального сполучного обладнання відбувається об'єднання сегментів та ліній. Це обладнання виконує роль маршрутизаторів, мостів, повторювачів. Зазвичай це може виконуватися одним пристроєм.

Дані протоколу KNX передаються з допомогою обміну пакетами. Швидкість передачі складає 1200 байт/с. У пакеті даних обов'язково вказуються адреси приймача та передавача, контрольна сума та самі дані. Обсяг цих даних повинен перевищувати 23 байт, у своїй час передачі становить від 20 мс до 40 мс. Чуйність залежить від завантаженості шини та числа пристроїв у ній. Також передбачена спеціальна система підтвердження доставки і якщо дані не були доставлені, то вони відсилаються знову.

Все обладнання має мати внутрішню енергонезалежну пам'ять, ця обов'язкова умова створена для того, щоб при відключенні системи не доводилося її перепрограмувати.

В даний час відомі у всьому світі виробники такі як ABB та Schneider Electric та ін. мають у своїх каталогах величезну кількість різноманітних KNX пристроїв: димери, вимикачі, керування кліматом, різні датчики тощо. При такому величезному розмаїтті всі моделі можуть монтуватися на DIN-рейку або стандартні розподільні коробки.

Усі пристрої KNX обов'язково проходять сертифікацію. Для програмування використовується програма ETS, файл конфігурації зазвичай завантажується з офіційного сайту виробника.

Як було сказано раніше, передача даних може здійснюватися кількома шляхами, перерахуємо їх і наведемо швидкість передачі:

- кручена пара, швидкість передачі 9600 біт/с;
- електромережа, швидкість передачі 1200 біт/сек;

- радіоканал, швидкість передачі 16,384 кбіт/с, 868 МГц;
- лінії Ethernet

KNX стандарт популярний насамперед за рахунок своєї надійності та простоти. У системі KNX силове проведення прокладається лише між споживачами і виконавчими пристроями, проте датчики об'єднуються лише сигнальними кабелями. Це сильно зменшує витрати силового кабелю, кількість з'єднань, а також втрати в мережі, на відміну від традиційної системи управління інженерним обладнанням. Все це підвищує надійність системи та знижує ймовірність виникнення пожежі.

Також протокол KNX залежить від будь-якої апаратної платформи. Розрізняють три категорії пристроїв, що настраюються:

- тип А - автоматичне налаштування. Це обладнання не потрібно налаштовувати вручну і воно націлене на кінцевого користувача;
- тип Е - пристрої з легким налаштуванням. Мають невелику кількість параметрів, які користувач сам вправі поміняти відповідно до його побажань;
- тип Б – системні пристрої. Мають велику кількість параметрів, які можна запрограмувати тільки за допомогою фахівця. Найчастіше використовується під час створення рекомендованих систем керування.

Якщо резюмувати все перераховане вище можна виділити основні переваги: двоспрямована передача даних; велика кількість різної продукції; широкий функціонал; може бути легко модернізовано. Також із недоліків варто виділити: вартість обладнання; для створення складної системи та програмування пристроїв знадобиться допомога фахівця. Великим недоліком є відсутність протоколів безпеки.

2.2 Вибір системи автоматичного управління освітленням для загальноосвітньої школи та її обґрунтування

За вивченою інформацією про вищезгадані протоколи, зіставивши всі переваги та недоліки, а також взявши до уваги деякі тонкощі до подальшого

розгляду, приймається автоматична система управління освітленням заснована на інтерфейсі DALI (Digitally Addressable Lighting Interface).

Протокол DALI може вирішувати велику кількість завдань для світлодіодних світильників, оскільки до встановлення в загальноосвітній школі №21 розглядаються саме світлодіодні світильники, цей протокол підходить з кількох причин:

- висока конкуренція на ринку завдяки відкритості протоколу, отже, можна знайти велику кількість виробників та за низькими цінами;
- наявність двонаправленої передачі;
- простота в монтажі, не потрібно дотримуватися полярності;
- можливість використовувати один 4-ох або 5-ти житловий кабель, спільно з фазою, нулем та землею. Не потребує екранування;
- можна створювати будь-яку топологію мережі, на відміну інших протоколів;
- простота пристроїв, деякі прилади можуть працювати одразу «з коробки».

Оскільки виробників, що підтримують DALI, велика кількість, то розгляд певних виробників приступимо на етапі докладних розрахунків, з урахуванням того, що можна використовувати пристрої різних виробників, адже протокол DALI надає таку можливість. Попередньо можна виділити таких виробників як: Panasonic, Siemens, OSRAM, ABB, BEG Brück Electronic, Schneider Electric, SAMSUNG Electronics, Varton, Lighting Tehnologies, Toshiba, Steinel.

2.3 Висновки до розділу 2

У розрахунковому розділі було визначено основні параметри системи освітлення об'єкта, зокрема необхідний рівень освітленості, кількість та потужність світильників, а також виконано вибір типу освітлювального обладнання. Проведені розрахунки підтвердили можливість забезпечення нормативних значень освітленості відповідно до чинних стандартів.

Виконано розрахунок електричних навантажень освітлювальної мережі, що дозволило обґрунтувати вибір кабельної продукції, апаратів захисту та елементів живлення системи. Визначені значення струмів та потужностей не перевищують допустимих норм, що забезпечує надійність і безпечність експлуатації.

У ході розрахунків встановлено доцільність використання світлодіодних світильників, які забезпечують високу світлову віддачу, знижене енергоспоживання та тривалий термін служби. Також обґрунтовано застосування системи керування освітленням на базі протоколу DALI, що дозволяє реалізувати гнучке керування освітленням, зменшити витрати електроенергії та підвищити ефективність роботи системи.

Отримані результати свідчать про те, що розроблена система освітлення є енергоефективною, відповідає нормативним вимогам та забезпечує необхідні умови для комфортної експлуатації приміщень.

3 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Вибір обладнання для автоматизованої системи управління освітленням у загальноосвітньому закладі

Загальноосвітня установа – місце в якому здійснюється освітній процес за одним або декількома освітніми програмами, а також забезпечує зміст і виховання учнів.

У будівлі школи розташовується велика кількість різних класів і кабінетів різної площі, тому для зручності зведено в таблиці А.1 – А.4 (додаток А) дані як найменування, площі приміщення, висоти стелі по приміщенням кожному поверсі, і навіть результати розрахунків.

У технічному приміщенні (підвалі) відповідно до вимог освітлення має встановлюватися лише по лінії основних проходів. Освітленість має бути не менше 20 люкс, за робочу поверхню береться підлога, тобто. 0,0 м.

До встановлення у технічне підпілля приймаємо світлодіодні світильники ДСП36В (LED, IP65) (виробництво заводу «Ватра». Їх особливість у тому, що вони володіють високим ступенем пило-і вологозахистом IP65. Потужність світильника 36 Вт, світловий потік 2900 Лм, напруга живлення 160-260 В. Гранична температура $-40 \div +50^{\circ} \text{C}$.

Для навчальних закладів рекомендується застосування КСС типу Г та Д відповідно до ДСТУ EN 12464-1:2014. Усі вибрані світильники мають криву сили світла (КСС) типу Д – косинусна.

Розглянемо докладніше характеристики світильника ДВО20У-36-011 Юпітер-LED-панель, він зображений на рис. 3.1. Крива сили світла зображено на рис 3.2.



Рисунок 3.1 – Світильник ДВО20У-36-011 Юпітер-LED-панель

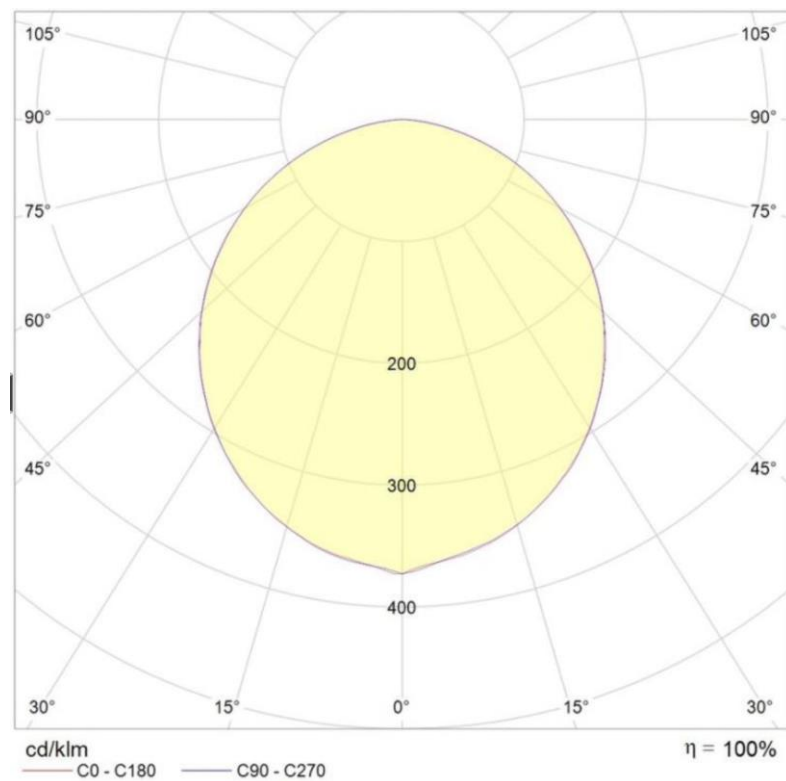


Рисунок 3.2 – КСС світильника ДВО20У-36-011 Юпітер-LED-панель

Аварійне освітлення забезпечується рахунок застосування блоків аварійного живлення (БАП), цей блок монтується всередину корпусу світильника. Він являє собою акумуляторну батарею, виконану з LiFePO_4 і контролер, що управляє. Акумулятор знаходиться на постійній підзарядці і в разі переривання напруги або аварійної ситуації живлення світильника здійснюється за рахунок нього. VARTON має у своєму каталозі декілька таких БАП із різними характеристиками, всі вони відповідають нормам безпеки.

Зробимо розрахунок необхідної кількості освітлювальних пристроїв для кожного приміщення методом коефіцієнта використання світлового потоку. Наприклад розрахуємо навчальний кабінет №17. Параметри приміщення для розрахунку наведено у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Параметри кабінету №17.

Найменування	Довжина, м	Ширина, м	Висота, м	Площа, м ²	Висота робочої поверхні, м
Кабінет №17	9.00	6.17	3.00	55.3	0.8

Необхідна кількість світильників розраховується за формулою:

$$N = \frac{E_H \cdot S \cdot K_3}{\Phi_C \cdot \eta}$$

де E_H – необхідна освітленість на горизонтальній поверхні, лк;

S – площа приміщення, що розраховується, м²;

K_3 – коефіцієнт запасу, який залежить від забрудненості в приміщенні, що розраховується, в даному випадку дорівнює 1,4;

Φ_C – світловий потік одного світильника, лм;

η – коефіцієнт використання світлового потоку.

Коефіцієнт використання світлового потоку залежить від двох складових:

- ступеня світловідбивної поверхні стін, стелі та підлоги, вимірюється у %;

- індексу приміщення (i).

Індекс приміщення знаходиться за формулою:

$$i = \frac{S}{(H - h_p - h_c) \cdot (A + B)}$$

де H – висота приміщення, м;

h_p – висота робочої поверхні, м;

h_c – висота звису світильника, м;

A – довжина приміщення, м;

B – ширина приміщення, м.

Зробимо розрахунок індексу приміщення кабінету №17:

$$i = \frac{55,3}{(3 - 0,8 - 0) \cdot (9 + 6,17)} = 1,65$$

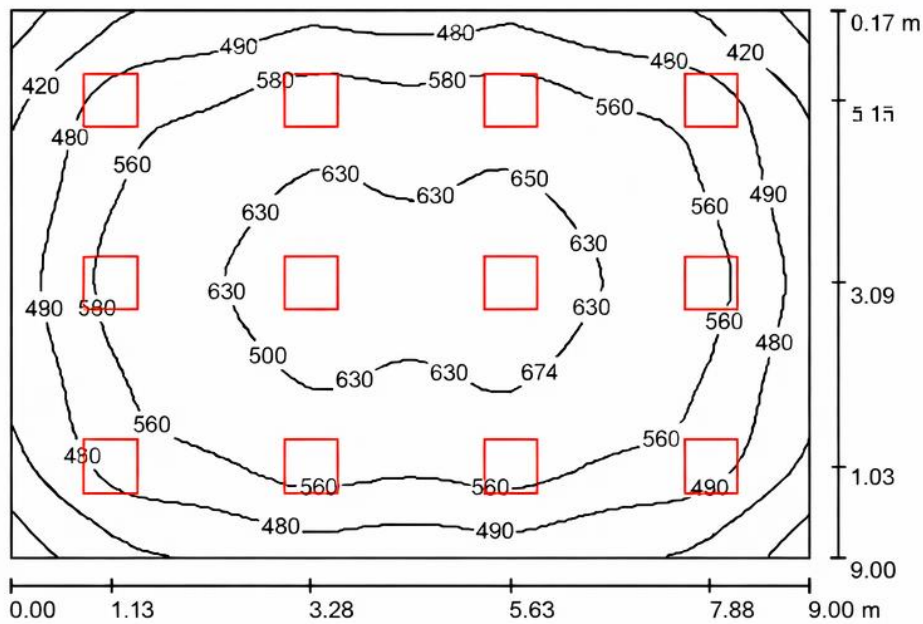
Наступним кроком необхідно знайти коефіцієнти відображення для стелі, стін та підлоги, у випадку з приміщеннями, що знаходяться у навчальному закладі, рівні відповідно 70 %, 50 %, 30 % .

Далі з довідкових даних знаходимо коефіцієнт використання світлового потоку для кабінету музики, він становить $\eta = 0,65$.

Таким чином, кількість світильників для установки:

$$N = \frac{500 \cdot 55,3 \cdot 1,4}{3750 \cdot 0,65} = 15,88 \approx 16$$

Для перевірки отриманого значення зробимо розрахунок у програмі DIALux Light, внесемо всі необхідні параметри для розрахунку, вони збігаються з розрахунками за формулами, програма сама видасть свою пропозицію за кількістю світильників та варіантом їх розміщення. Результат розрахунку програми зображено на рис 3.3. Як очевидно з результатів розрахунку DIALux до установки пропонується 12 світильників середня освітленість на горизонтальній поверхні у приміщенні становить 548 лк, а мінімальне значення 328 лк, але він у самому кутку кабінету. Тому що значення, отримане розрахунковим шляхом та значення програми, не збігаються шляхом ручного введення внесемо кількість світильників, отримане шляхом розрахунку, тобто 16 шт програма автоматично розставляє світильники. Результати цього розрахунку наведено на рис. 3.4. З результатів можна побачити, що середня освітленість дорівнює 726 лк, а максимальна освітленість, сконцентрована у середині кабінету дорівнює 886 лк. Так як ці параметри сильно більше рекомендованого ДСТУ, і можуть спричинити швидку стомлюваність, дратівливість та головний біль у дітей, що не допустимо. Тому приймемо кількість світильників для встановлення 12 штук, як це було розраховано програмою в першому випадку. І всі подальші розрахунки будемо робити за допомогою програми DIALux.



Висота приміщення: 3.000 м. Монтажна висота: 3.000 м.
Коефіцієнт експлуатації: 0.80

Значення в лк, Масштаб 1:80

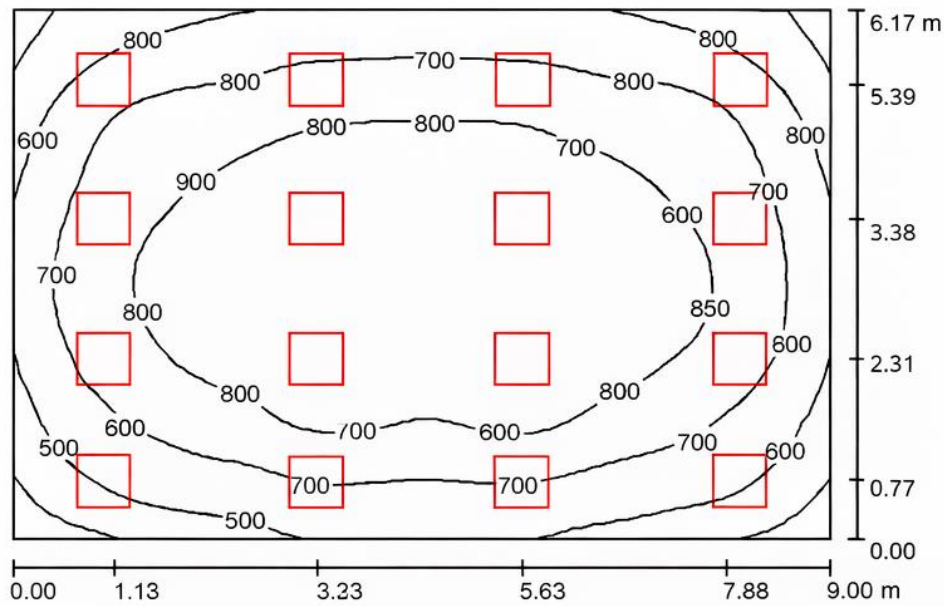
Поверхня	ρ [%]	$E_{\text{ср}}$ [лк]	$E_{\text{мін}}$ [лк]	$E_{\text{макс}}$ [лк]	$E_{\text{мін}} / E_{\text{ср}}$	$E_{\text{мін}} / E_{\text{ср}}$
Робоча площа	20	548	328	674	0.599	0.599
Підлога	30	476	297	590	0.624	0.624
Стела	70	1026	778	1176	0.789	0.759
Стіни (4)	50	325	127	513	0.391	/

Робоча площа:

Висота: 0.850 м
Слха « поники: 32 x 32 точки
Кранова зона: 0.000 м

Кількість точок, в щод освітлюється менше (для IIEQ-7): 4.00 %

Рисунок 3.3 – Результат світлотехнічного розрахунку для кабінету №17 у програмі DIALux в автоматичному режимі



Висота приміщення: 3.000 м. Монтажна висота: 3.000 м.
Коефіцієнт експлуатації: 0.80

Значення в лк, Масштаб 1:80

Поверхня	ρ [%]	$E_{\text{ср}}$ [лк]	$E_{\text{мін}}$ [лк]	$E_{\text{макс}}$ [лк]	$E_{\text{мін}} / E_{\text{ср}}$	$E_{\text{мін}} / E_{\text{ср}}$
Робоча площа	72	728	436	880	0.599	0.599
Підлога	30	496	318	606	0.640	0.640
Стеля	70	1092	772	1260	0.708	0.708
Стіни (4)	50	406	171	769	0.421	/

Робоча площа:

Висота: 0.850 м
Стіка: 32 x 32 точки
Крянова зона: 0.000 м

Кількість точок з освітлістю менше (для IIEQ-7): 0.00 %

Рисунок 3.3 – Результат світлотехнічного розрахунку для кабінету №17 у програмі DIALux в ручному режимі

Аналогічним способом проводиться розрахунок для всіх інших кабінетів та приміщень загальноосвітньої школи. Результати обчислень занесемо до таблиць А.1-А.4 (Додаток А).

Живлення світильників здійснюється від 9-ти щитів освітлення, які розташовуються на трьох поверхах та технічному підпіллі. Зведемо дані про розташування щитів, найменування і кількість груп живлення в таблицю 3.8.

Таблиця 3.8 – Дані щитів освітлення школи

Поверх	Позначення щита освітлення (ЩО)	Розташування ЩО	Кількість груп у ЩО	Кабель	Номінал ввідного автомата, А
0	ЩО	Підвал	4	$ВВГнг2(A) - LS$ $3 \times 1,5$	10
1	1 ЩО	Поряд із кабінетом № 5	9	$ВВГнг2(A) - LS$ $5 \times 1,5$	16
	4 ЩО	У коридорі, поряд з кабінетом №17	12	$ВВГнг2(A) - LS$ $5 \times 1,5$	20
	7 ЩО	Хол поруч із їдальнею	14	$ВВГнг2(A) - LS$ $5 \times 1,5$	20
2	2 ЩО	Поряд з кабінетом №23	13	$ВВГнг2(A) - LS$ $5 \times 1,5$	20
	5 ЩО	У коридорі, поряд з кабінетом №34	15	$ВВГнг2(A) - LS$ $5 \times 1,5$	20
	8 ЩО	Поряд з актовим залом	4	$ВВГнг2(A) - LS$ $5 \times 1,5$	10
3	3 ЩО	Поряд з кабінетом №47	12	$ВВГнг2(A) - LS$ $5 \times 1,5$	20
	6 ЩО	У коридорі, поряд з кабінетом №59	15	$ВВГнг2(A) - LS$ $5 \times 1,5$	20

Для живлення та захисту необхідно вибрати кабелі та автоматичні вимикачі. Для цього необхідно розрахувати силу струму для кожної групи та щита загалом за формулою:

$$I = \frac{P_{\Sigma}}{U_{\phi} \cdot \cos \varphi},$$

де P_{Σ} – сумарна потужність світильників встановлених в одному кабінеті, Вт;

U_{ϕ} – фазна напруга, В;

$\cos \varphi$ – коефіцієнт потужності.

Наприклад візьмемо також кабінет № 17. До установки передбачається 12 світильників потужністю 30 Вт кожен. Сумарна потужність світильників у 17 кабінеті:

$$P_{\Sigma,17\text{ каб}} = 12 \cdot 30 = 360 \text{ Вт.}$$

Знайдемо значення сили струму в лінії.

$$I_{17\text{ каб}} = \frac{360}{230 \cdot 0,95} = 1,65 \text{ А.}$$

Вибір автоматичного вимикача здійснюється за умовами:

$$\begin{aligned} I_{н.а.} &\geq I_{н.р.} \\ I_{н.р.} &\geq I_{17\text{ каб}} \end{aligned}$$

де $I_{н.а.}$ – номінальний струм автоматичного вимикача, А;

$I_{н.р.}$ – номінальний струм розчіплювача автоматичного вимикача, А.

Таким чином, вибираємо автоматичний вимикач виробництва Schneider electric серії Acti9 iC60N номіналом 2 А.

Так само проводиться розрахунок і вибір автоматичних вимикачів для решти груп і щитів загалом. Результати розрахунку наведено у таблиці А.1-А4 (Додаток А).

Кабельну продукцію використовуємо виробництва ПАТ "Одескабель. До прокладання вибираються кабелі Кабель ВВГнг(А)–LS (5кл.) різного перерізу. Розшифруємо маркування кабелю. Відсутність першої літери А говорить про те, що струмопровідна жила виконана з міді. Перша буква В – означає, що ізоляція кабелю виконана з полівінілхлоридного (ПВХ) пластикату, друга буква В – оболонка струмопровідної жили виконана з ПВХ пластикату. Третя літера Г – вказує на відсутність захисного покриття; нг - вказує на те, що кабель не розповсюджує горіння при груповій прокладці; (А) – вказує на клас пожежної безпеки (категорія А); LS (low smoke) – позначають знижений димо-і газовиділення.

Для визначення перерізу кабелю необхідно знайти струм у лінії, з прикладу вище визначили, що струм у лінії дорівнює 1,65 А. Тому приймаємо до

встановлення кабель $BBГнз(A) - LS 5 \times 1,5$ з тривало допустимим струмом навантаження $21 A$. Так як навантаження зі світлодіодним освітленням по окремих групах 1 де кабель для прокладки в приміщення, для кабелів живлення щитів освітлення знайдемо перерізу і занесемо їх в таблицю 3.8.

Допустимий струм та перетин знайдемо в каталозі виробника для п'ятижильних кабелів $BBГнз(A) - LS$.

Також необхідно взяти до уваги, що мінімальний переріз кабелю з мідною жилою для освітлення становить $1,5 \text{ мм}^2$.

Для створення системи управління необхідно вибрати датчики руху, присутності та освітленості. Завдяки їм з'являється можливість створювати сценарії управління освітлювальними приладами в кабінетах, коридорах, сходових майданчиках тощо.

Для кабінетів виберемо датчик присутності Steinel US 360 DALI-2 він призначений саме для встановлення в кабінетах та офісних приміщеннях. І має оптимальні характеристики, які вказані в таблиці 3.9. На рис. 3.4 зображено зовнішній вигляд датчика, а на рис. 3.5 область роботи цього датчика.

Таблиця 3.9 – Технічні характеристики Steinel IR Quattro HD DALI

Характеристики	Значення
Тип сенсора	Інфрачервоний
Кут охоплення датчика	360° при куті розчину 180°
Дальність дії	Макимум 36 метрів тангенційно
Рекомендована висота установки	Від 2,5 до 10 метрів
Напруга	230-240 В 50/60 Гц
Ступінь захисту	IP20
Температурний діапазон	від -20° до $+40^\circ$
Площа зони присутності	Макимум $8 \times 8 \text{ м}$ (64 м^2)
Площа зони тангенціального руху	Макимум $20 \times 20 \text{ м}$ (400 м^2)



Рисунок 3.4 – Зовнішній вигляд датчика присутності Steinel US 360 DALI-2.

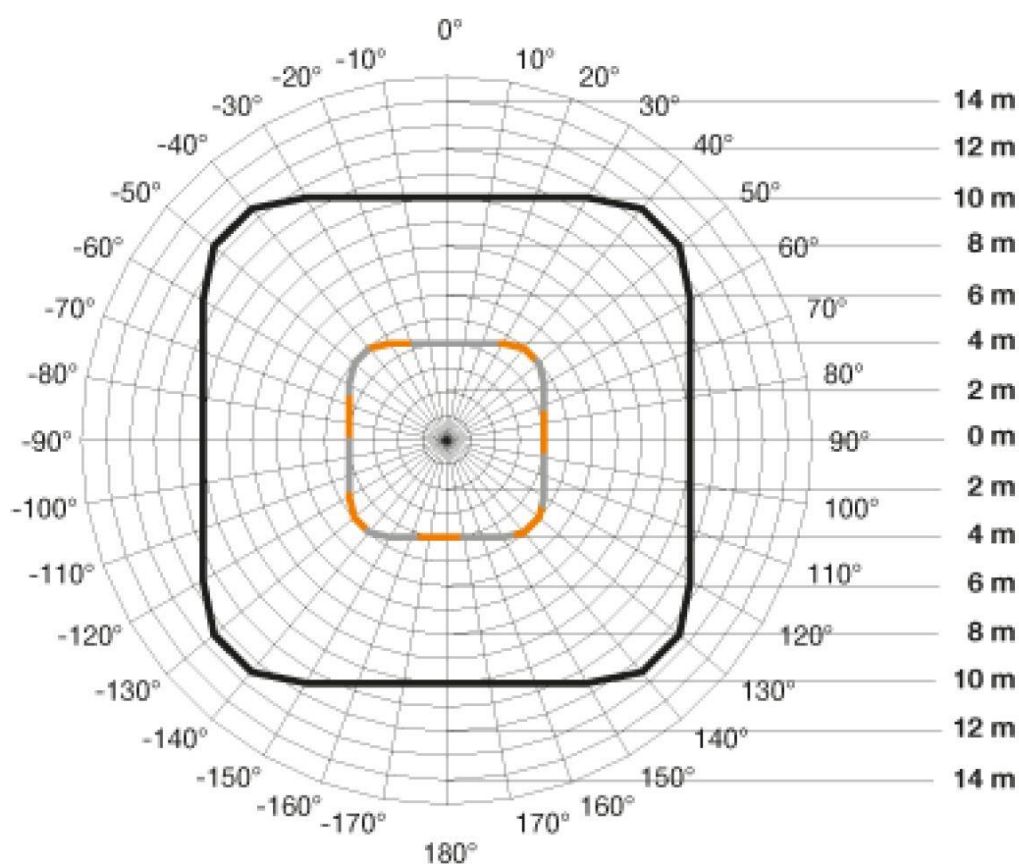


Рисунок 3.5 – Область роботи датчика присутності Steinel US 360 DALI-2.

Для підсобних приміщень та санвузлів, а також сходових кліток застосовуються датчики руху *Steinel HF 3360 SQUARE DALI AP*. Область роботи цього датчика зображено на рис. 3.6. Основні технічні характеристики наведено у таблиці 3.10.

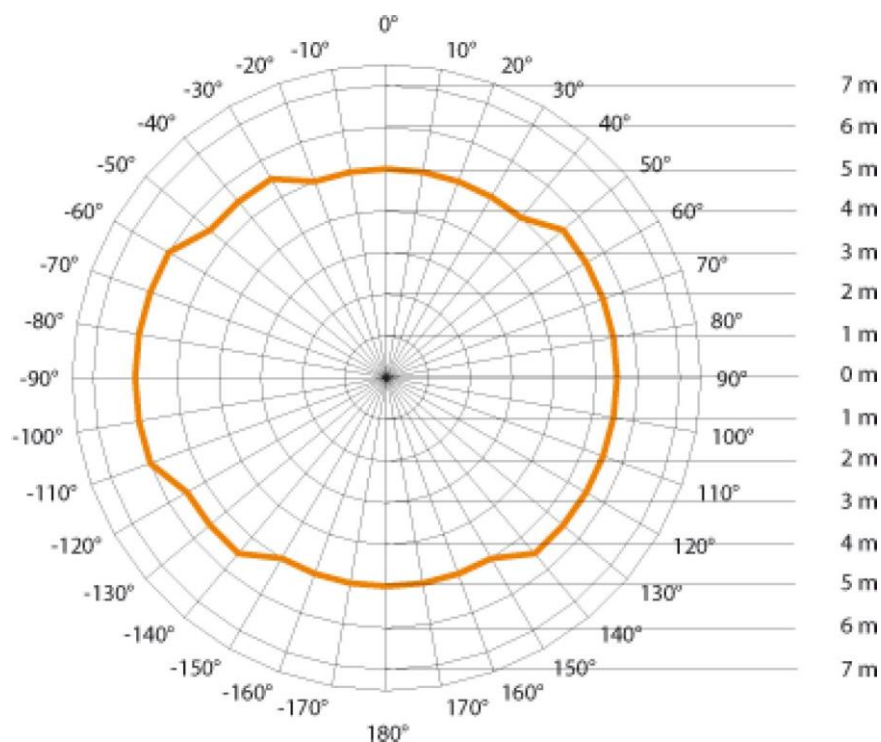


Рисунок 3.6 – Область роботи датчика руху *Steinel HF 3360 SQUARE DALI AP*

Таблиця 3.10 – Характеристики *Steinel HF 3360 SQUARE DALI AP*

Характеристики	Значення
Тип сенсора	Високочастотний
Кут охоплення датчика	360° при куті розчину 140°, крізь скло, дерево та тонкі стіни
Дальність дії	Максимум 8 метрів по колу
Рекомендована висота установки	Від 2 до 3 метрів
Напруга	220-240 В 50/60 Гц
Максимальне навантаження	2000 Вт
Ступінь захисту	IP54
Температурний діапазон	від -20° до +50 °
Сенсор	5,8 ГГц високої частоти; потужність сигналу: < 1 мВт

У вузьких коридорах застосовуються датчик руху *Steinel IS 345 SQUARE DALI AP*. Область роботи зображена на рис. 3.7. Технічні характеристики наведено у таблиці 3.11.

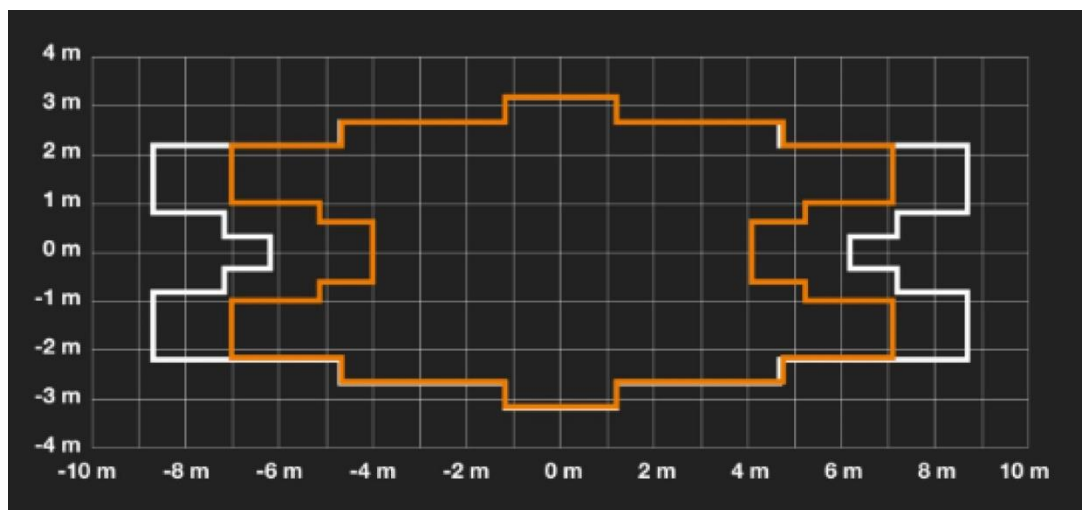


Рисунок 3.7 – Область роботи датчика руху *Steinel IS 345 SQUARE DALI AP*

Таблиця 3.11 – Технічні характеристики *Steinel IS 345 SQUARE DALI AP*

Характеристики	Значення
Тип сенсора	Пасивний інфрачервоний
Кут охоплення датчика	180° при куті розчину 45°
Площа зони присутності	12м × 4м
Площа зони тангенціального руху	20м × 4м
Рекомендована висота установки	Від 2,5 до 5 метрів
Напруга	220 – 240 В 50 / 60 Гц
Максимальне навантаження	2 кВт
Ступінь захисту	IP54
Температурний діапазон	від -20° до +50°

У всіх вищезгаданих датчиках вже вбудовані сенсори, що вимірюють освітленість, тому окремо закуповувати датчики освітленості не потрібно.

Для керування всіма датчиками та світильниками необхідно встановити дві шафи керування ATS 4 DALI виробництва Schröder. Одна шафа розрахована на 512 каналів яка маж сенсорну панель керування системою освітлення для моніторингу та налаштування. На рисунку 3.8 зображено шафу керування із панель керування.



Рисунок 3.8 – Шафи керування ATS 4 DALI виробництва Schréder

3.2 Алгоритм функціонування системи автоматизованого керування освітленням

Ефективне функціонування системи автоматизованого керування освітленням у приміщеннях навчального закладу значною мірою залежить від правильно сформованого алгоритму її роботи. Саме алгоритм визначає послідовність дій системи, порядок обробки вхідної інформації, логіку прийняття рішень та формування керуючих сигналів.

У межах даної роботи розроблено алгоритм автоматизованого керування освітленням, який враховує тип приміщення, рівень природної та штучної освітленості, наявність людей у зоні контролю, а також режим використання окремих приміщень відповідно до розкладу навчального процесу. Запропонований алгоритм орієнтований на забезпечення нормативних умов освітлення та одночасне зниження непродуктивних витрат електричної енергії.

На рисунку 3.9 наведено блок-схему алгоритму роботи системи автоматизованого керування освітленням у приміщеннях навчального закладу.

На початковому етапі роботи системи виконується ініціалізація та тестування основних функціональних елементів. На цьому етапі перевіряється працездатність датчиків руху, присутності, освітленості, контролера та виконавчих пристроїв, які безпосередньо здійснюють керування освітлювальними приладами. Така перевірка є необхідною умовою для забезпечення надійності функціонування системи в автоматичному режимі.

Після успішного завершення тестування система переходить до етапу зчитування інформації від датчиків, у результаті чого формується набір вхідних даних для подальшої обробки. До основних параметрів, що аналізуються системою, належать:

- рівень освітленості в контрольованій зоні;
- факт наявності руху або присутності людини;
- тип приміщення, в якому встановлений відповідний датчик;
- режим використання приміщення (для навчальних кабінетів – відповідність розкладу занять).

Подальша робота алгоритму організована за циклічним принципом, що забезпечує безперервний моніторинг стану приміщень та своєчасне реагування на зміну умов. На кожному циклі система послідовно виконує опитування всіх підключених датчиків, аналізує отриману інформацію та приймає рішення щодо необхідності зміни режиму роботи освітлення.

3.2.1 Логіка роботи алгоритму для навчального кабінету

Якщо під час опитування встановлено, що поточний датчик належить до навчального кабінету, алгоритм додатково враховує розклад проведення занять. Такий підхід дозволяє враховувати реальний режим використання приміщення та уникати безпідставного вмикання освітлення в періоди, коли кабінет не використовується.

У випадку, якщо заняття у кабінеті не проводиться, система не активує основне освітлення та переводить світильники у черговий режим або повністю

їх вимикає. Це забезпечує додаткове енергозбереження та підвищує ефективність функціонування всієї системи.

Якщо ж заняття проводиться відповідно до розкладу, система переходить до аналізу поточного рівня освітленості. Для навчальних кабінетів у даній роботі прийнято нормативний рівень освітленості 500 лк, що відповідає вимогам до організації освітлення в навчальних приміщеннях.

Подальше функціонування системи здійснюється за такою логікою:

- якщо поточний рівень освітленості перевищує 500 лк, додаткове штучне освітлення не вмикається;
- якщо освітленість нижча за нормативне значення, система перевіряє факт присутності людини в кабінеті;
- у разі виявлення присутності людини система формує команду на увімкнення освітлювальних приладів до досягнення заданого рівня освітленості;
- якщо присутність людини не виявлена, освітлення не активується, а система залишає світильники вимкненими або переводить їх у черговий режим.

Таким чином, для навчального кабінету рішення про вмикання освітлення приймається на основі трьох критеріїв: факту проведення занять, рівня освітленості та наявності людини у приміщенні.

3.2.2 Логіка роботи алгоритму для коридору

Якщо датчик належить до зони коридору, система переходить до реалізації алгоритму, адаптованого до умов допоміжного приміщення. Для коридорів характерний змінний режим використання, тому вмикання освітлення здійснюється лише за наявності потреби.

У даній роботі для коридорів прийнято нормативне значення освітленості 150 лк. Саме це значення використовується як порогове при прийнятті рішення щодо вмикання або вимикання освітлення.

Алгоритм роботи в цій зоні є таким:

- якщо поточний рівень освітленості перевищує 150 лк, система не активує штучне освітлення;
- якщо рівень освітленості нижчий за 150 лк, виконується перевірка наявності людини в коридорі;
- якщо присутність людини зафіксована, система вмикає освітлення до досягнення запрограмованого рівня;
- якщо людина відсутня, світильники вимикаються або переводяться у черговий режим.

Такий підхід дозволяє підтримувати необхідний рівень освітленості в зоні пересування людей лише в ті моменти, коли це дійсно необхідно.

3.2.3 Логіка роботи алгоритму для санітарного вузла

Для приміщення санітарного вузла алгоритм також реалізує окрему логіку керування, яка враховує специфіку використання цієї зони. У таких приміщеннях, як правило, не потрібне тривале постійне освітлення, тому доцільним є його автоматичне вмикання лише за фактом присутності людини.

Для санітарного вузла у роботі прийнято нормативне значення освітленості 75 лк. Подальша логіка роботи алгоритму є такою:

- якщо фактичний рівень освітленості перевищує 75 лк, система не вмикає додаткове освітлення;
- якщо освітленість нижча за 75 лк, виконується перевірка наявності людини в приміщенні;
- у разі виявлення людини система вмикає освітлення до досягнення заданого рівня;
- якщо присутність не зафіксована, світильники залишаються вимкненими або переводяться у черговий режим.

Такий режим роботи дозволяє забезпечити комфортні умови перебування користувачів приміщення при мінімальному рівні енергоспоживання.

3.2.4 Обробка допоміжних або невизначених датчиків

У разі, якщо поточний датчик не належить до жодної з основних функціональних зон, передбачених алгоритмом, система ігнорує його покази та переходить до обробки наступного елемента. Це забезпечує коректність функціонування алгоритму та запобігає формуванню помилкових команд керування.

Подібний підхід є доцільним з огляду на можливість подальшого розширення системи, підключення резервних датчиків або тимчасового використання додаткових вимірювальних елементів.

3.2.5 Завершення циклу та повторне опитування

Після завершення обробки поточного датчика система виконує оновлення інформації щодо стану контрольованих зон, параметрів освітленості та режимів роботи світильників. Після цього реалізується затримка перед наступним циклом опитування, що дозволяє уникнути надмірного навантаження на систему керування та забезпечує стабільну роботу алгоритму в режимі реального часу.

Надалі алгоритм знову переходить до етапу опитування датчиків, тобто функціонує безперервно доти, доки система перебуває у ввімкненому стані.

3.2.6 Переваги запропонованого алгоритму

Розроблений алгоритм має низку переваг, які свідчать про його доцільність для застосування в системах автоматизованого керування освітленням навчальних закладів. До основних переваг належать:

урахування функціонального призначення приміщення;

- адаптація режиму роботи освітлення до фактичного рівня освітленості;
- автоматичне реагування на присутність людей;
- зниження непродуктивного споживання електроенергії;
- забезпечення нормативних умов освітлення;
- можливість подальшого розширення та модернізації системи;

- простота реалізації в мікроконтролерних, PLC- або SCADA-системах.

Отже, розроблений алгоритм функціонування системи автоматизованого керування освітленням забезпечує ефективне поєднання вимог до комфорту, безпеки та енергоефективності. Його застосування дозволяє автоматично адаптувати режим роботи освітлювальних приладів до реальних умов експлуатації приміщень, що є важливою складовою сучасних інтелектуальних систем енергоменеджменту будівель.

Крім того, запропонований алгоритм є достатньо гнучким для подальшого удосконалення, зокрема шляхом інтеграції додаткових датчиків, використання систем прогнозування освітленості або реалізації централізованого диспетчерського керування.

3.3 Висновки до розділу 3

У даному розділі було виконано проектно-конструкторське опрацювання системи автоматизованого керування освітленням у приміщеннях загальноосвітнього закладу.

На першому етапі здійснено вибір освітлювального обладнання з урахуванням вимог нормативних документів щодо рівня освітленості в навчальних, допоміжних та технічних приміщеннях. Проведено світлотехнічні розрахунки методом коефіцієнта використання світлового потоку, а також виконано перевірку отриманих результатів за допомогою програмного середовища DIALux, що дозволило уточнити кількість та розміщення світильників.

У процесі проектування було обґрунтовано вибір світлодіодних освітлювальних приладів, які забезпечують високу енергоефективність, довговічність та відповідність сучасним вимогам до освітлення навчальних закладів. Також визначено параметри системи електроживлення, виконано

підбір кабельної продукції та захисної апаратури з урахуванням розрахованих навантажень.

Окрему увагу приділено вибору датчиків руху, присутності та освітленості, які забезпечують формування вхідної інформації для системи керування. Обрані типи датчиків дозволяють ефективно враховувати специфіку різних приміщень, зокрема навчальних кабінетів, коридорів та санітарних вузлів.

У розділі також розроблено алгоритм функціонування системи автоматизованого керування освітленням, який базується на аналізі рівня освітленості, наявності людей у приміщенні та режиму використання навчальних аудиторій. Запропонований алгоритм реалізує адаптивне керування освітленням та забезпечує раціональне використання електричної енергії.

Таким чином, у результаті виконаних досліджень та розрахунків сформовано технічну основу для створення ефективної системи автоматизованого керування освітленням, яка відповідає сучасним вимогам енергоефективності, надійності та комфорту експлуатації. Отримані результати можуть бути використані при подальшому впровадженні систем автоматизації освітлення в навчальних закладах та інших об'єктах соціальної інфраструктури.

4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

Питання безпеки життєдіяльності та охорони праці є важливою складовою під час проектування, монтажу та експлуатації систем автоматизованого керування освітленням у будівлях навчального призначення. Особливість таких систем полягає в тому, що вони поєднують у собі електротехнічне обладнання, засоби автоматизації, кабельні мережі, датчики, комутаційну апаратуру та освітлювальні прилади, робота яких повинна бути не лише ефективною, а й безпечною для користувачів і обслуговуючого персоналу.

Для системи автоматизованого керування освітленням у загальноосвітньому закладі особливо актуальними є питання:

- електробезпеки під час монтажу та технічного обслуговування;
- забезпечення безпечних умов перебування людей у приміщеннях шляхом раціональної організації освітлення.

У цьому розділі розглянуто два основні аспекти безпеки, що безпосередньо стосуються теми кваліфікаційної роботи.

4.1 Електробезпека під час монтажу та експлуатації системи автоматизованого керування освітленням

Система автоматизованого керування освітленням навчального закладу включає електричні мережі живлення, щити освітлення, автоматичні вимикачі, контролери, датчики, релейні або димуючі модулі, а також освітлювальні прилади.

Усі ці елементи під час монтажу, налагодження та подальшої експлуатації можуть становити потенційну небезпеку ураження електричним струмом, тому питання електробезпеки є одним із ключових.

Основними небезпечними факторами під час виконання робіт із монтажу та обслуговування системи є:

- можливість дотику до струмовідних частин, що перебувають під напругою;
- пошкодження ізоляції кабелів і проводів;
- короткі замикання у колах живлення та керування;
- помилки під час підключення комутаційної апаратури;
- виникнення аварійних режимів у щитах освітлення;
- небезпека ураження струмом при виконанні робіт у вологих або технічних приміщеннях.

Для зниження ризику ураження електричним струмом у системі повинні бути реалізовані такі технічні заходи безпеки:

1. Захист від прямого та непрямого дотику

Усі струмовідні частини електрообладнання повинні бути закриті захисними кожухами, корпусами або встановлені в електротехнічних шафах, що унеможливають випадковий доступ до них. Особливо це стосується щитів освітлення, контролерів та комутаційних модулів.

2. Застосування захисного заземлення

Усі металеві неструмовідні частини обладнання, які можуть опинитися під напругою внаслідок пошкодження ізоляції, повинні бути приєднані до системи захисного заземлення.

До таких елементів належать:

- корпуси щитів освітлення;
- металеві корпуси світильників;
- монтажні шафи;
- корпуси деяких виконавчих модулів.

Наявність захисного заземлення значно зменшує ризик ураження людини електричним струмом у разі аварійної ситуації.

3. Використання автоматичних вимикачів

Для захисту електричних ліній системи освітлення від перевантаження та короткого замикання необхідно використовувати **автоматичні вимикачі**, номінальні параметри яких мають відповідати розрахунковим струмам

навантаження.

Такі пристрої забезпечують автоматичне відключення пошкодженої ділянки мережі, що запобігає перегріванню кабелів, пошкодженню обладнання та виникненню пожежонебезпечних ситуацій.

4. Використання пристроїв захисного вимкнення

Для додаткового підвищення рівня електробезпеки доцільно застосовувати **пристрої захисного вимкнення (ПЗВ) або диференційні автомати**, особливо в тих колах, що пов'язані з:

- санітарними вузлами;
- технічними приміщеннями;
- вологими або підвищено небезпечними зонами.

Такі пристрої дозволяють оперативно вимкнути живлення при появі струмів витоку та значно знижують імовірність ураження людини електричним струмом.

5. Дотримання вимог до кабельної продукції

Кабельні лінії системи автоматизованого керування освітленням повинні виконуватися з використанням кабелів, які відповідають умовам експлуатації за:

- допустимим струмовим навантаженням;
- перерізом жил;
- класом пожежної безпеки;
- механічною міцністю;
- типом ізоляції.

Для внутрішніх мереж освітлення доцільно використовувати кабелі з мідними жилами та негорючою або малодимною ізоляцією, що є особливо важливим для навчальних закладів як об'єктів із масовим перебуванням людей.

6. Організаційні заходи безпеки

Окрім технічних рішень, під час виконання монтажних і налагоджувальних робіт необхідно дотримуватися організаційних заходів безпеки, зокрема:

- виконувати роботи лише при знятті напруги;

- застосовувати **попереджувальні плакати** та блокування;
- використовувати **інструмент з ізольованими ручками**;
- застосовувати **засоби індивідуального захисту**;
- допускати до виконання робіт лише осіб, які пройшли відповідний інструктаж та мають необхідну групу з електробезпеки.

Таким чином, забезпечення електробезпеки є обов'язковою умовою на всіх етапах створення та експлуатації системи автоматизованого керування освітленням. Реалізація технічних і організаційних заходів дозволяє мінімізувати ризики для персоналу та забезпечити надійне функціонування системи.

4.2 Забезпечення безпечних та комфортних умов праці й навчання за рахунок раціональної організації освітлення

Одним із важливих аспектів безпеки життєдіяльності у навчальних закладах є створення **безпечних та комфортних умов перебування людей у приміщеннях**, що безпосередньо пов'язано з якістю освітлення. Недостатній або неправильно організований рівень освітленості негативно впливає на працездатність, самопочуття, концентрацію уваги, зорове навантаження та загальну безпеку учнів і працівників закладу.

Система автоматизованого керування освітленням, розроблена в межах даної кваліфікаційної роботи, дозволяє підтримувати необхідні параметри освітлення відповідно до функціонального призначення приміщень, що безпосередньо впливає на умови праці та навчання.

Основними негативними наслідками неякісного освітлення в навчальних приміщеннях є:

- підвищена втомлюваність;
- зниження концентрації уваги;
- зорове перенапруження;
- головний біль;
- зменшення ефективності навчального процесу;

- підвищення ризику травматизму в зонах пересування людей.

У зв'язку з цим правильна організація освітлення є не лише технічним, а й важливим **санітарно-гігієнічним та безпековим фактором**.

1. Забезпечення нормативних рівнів освітленості

У межах проекту для різних типів приміщень прийнято нормативні рівні освітленості:

- **500 лк** – для навчальних кабінетів;
- **150 лк** – для коридорів;
- **75 лк** – для санітарних вузлів.

Підтримання зазначених значень дозволяє забезпечити належні умови:

- для навчальної діяльності;
- для безпечного переміщення людей;
- для комфортного користування допоміжними приміщеннями.

Особливо важливим є забезпечення нормативної освітленості у навчальних кабінетах, де учні та викладачі тривалий час виконують зорову роботу.

2. Зниження ризику травматизму

Недостатній рівень освітлення в коридорах, сходових клітках, технічних або допоміжних приміщеннях може стати причиною:

- падінь;
- зіткнень;
- помилкових дій персоналу;
- ускладненої евакуації у разі надзвичайної ситуації.

Автоматизована система освітлення дозволяє забезпечити своєчасне вмикання освітлювальних приладів у зонах перебування та переміщення людей, що сприяє зниженню ризику побутового та виробничого травматизму.

3. Покращення санітарно-гігієнічних умов

Раціональна організація освітлення позитивно впливає на:

- психофізіологічний стан користувачів приміщень;
- зменшення зорового навантаження;

- зниження стомлюваності;
- підтримання працездатності протягом навчального або робочого дня.

Застосування автоматизованого керування дозволяє уникати ситуацій, коли освітлення або є недостатнім, або навпаки — надмірним. Обидва випадки небажані, оскільки можуть призводити до дискомфорту, подразнення зору та погіршення умов праці й навчання.

4. Підвищення безпеки в умовах змінної освітленості

У навчальних закладах освітленість приміщень може суттєво змінюватися залежно від:

- часу доби;
- погодних умов;
- сезону року;
- орієнтації вікон;
- рівня природного освітлення.

Завдяки використанню датчиків освітленості система автоматично реагує на ці зміни та підтримує необхідний рівень штучного освітлення. Це дозволяє забезпечити **стабільні та безпечні умови перебування людей** незалежно від зовнішніх факторів.

5. Забезпечення безпечної експлуатації приміщень навчального закладу

Автоматизація керування освітленням також сприяє підвищенню загальної експлуатаційної безпеки будівлі, оскільки:

- виключає залежність від людського фактора;
- зменшує ймовірність залишення небезпечних або темних зон без освітлення;
- дозволяє централізовано контролювати роботу системи;
- забезпечує більш стабільний режим функціонування освітлювального обладнання.

Таким чином, система автоматизованого керування освітленням виконує не лише енергоощадну, але й важливу **безпекову функцію**, створюючи належні

умови для перебування учнів, викладачів та технічного персоналу в будівлі навчального закладу.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі вирішено актуальне завдання підвищення енергоефективності системи освітлення загальноосвітнього навчального закладу шляхом розроблення автоматизованої системи керування освітлювальними навантаженнями.

У ході роботи проведено аналіз нормативних вимог до освітлення навчальних приміщень та сучасних технологій керування освітлювальними системами. Обґрунтовано доцільність застосування цифрового протоколу DALI як ефективного засобу реалізації автоматизованого керування освітленням.

Виконано вибір обладнання системи, розроблено алгоритм її функціонування та проведено світлотехнічні розрахунки, що підтвердили відповідність запропонованих рішень нормативним вимогам щодо освітленості. Запропонована система забезпечує адаптивне керування освітленням залежно від рівня освітленості та присутності людей, що дозволяє зменшити непродуктивне споживання електричної енергії.

Реалізація запропонованих технічних рішень дозволяє підвищити енергоефективність, покращити умови навчання та забезпечити безпечну експлуатацію освітлювальних установок.

Практична цінність роботи полягає у можливості впровадження розробленої системи для модернізації існуючих освітлювальних установок навчальних закладів з метою зниження енергоспоживання та підвищення якості освітлення.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. ДБН В.2.5-28:2018. Природне і штучне освітлення. – Київ : Мінрегіон України, 2018. – Режим доступу: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=79885 (дата звернення: 18.03.2026).
2. ДСТУ EN 12464-1:2014. Світло та освітлення. Освітлення робочих місць у приміщеннях. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2015.
3. Юнгер В.І. Вимоги до інфраструктури та управління закладами освіти в умовах енергоефективності / В.І. Юнгер // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. – 2023. – Режим доступу: <https://ema.ztu.edu.ua/article/view/317618> (дата звернення: 18.03.2026).
4. Modern lighting sources and controls for energy efficient lighting and a smart control algorithm application [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.researchgate.net/publication/228959954> (дата звернення: 18.03.2026).
5. Lighting Control Including Daylight and Energy Efficiency Improvements Analysis [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.researchgate.net/publication/327132460> (дата звернення: 18.03.2026).
6. Lee J. H. Study on Lighting Energy Savings by Applying a Daylight-Linked Dimming System // Energies. – 2024. – Mode of access: <https://www.mdpi.com/1996-1073/17/14/3425> (дата звернення: 18.03.2026).
7. Specifying with DALI – A Lighting Designer’s Guide [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.dali-alliance.org/data/downloadables/4/3/6/diase001a-specifying-with-dali-a-lighting-designers-guide.pdf> (дата звернення: 18.03.2026).
8. Lighting controls / Springer Nature. – 2023. – Mode of access: https://link.springer.com/rwe/10.1007/978-3-030-89862-5_134 (дата звернення: 18.03.2026).
9. Practical Guide for Energy Efficient Buildings and Lighting Systems [Electronic resource]. – Mode of access: https://livingplanet.org.ua/images/2025/2025_Practical_Guide_EE_DNZ.pdf (дата звернення: 18.03.2026).

10. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів [Текст] : [затв. ... Наказ М-ва палива та енергетики України 25.07.2006 № 258] / М-во палива та енергетики України. - Х. : Індустрія : Енергетичні рішення, 2012. - 318 с.

11. Algorithms for automatic of metrological characteristics of transducers / Serhiy Babiuk, Ivan Sysak, Oleh Buniak, Yaroslav Osadtsa // Scientific Journal of TNTU. — Tern. : TNTU, 2022. — Vol 107. — No 3. — P. 67–75.

12. Vakulenko, O., Sysak, I., Babiuk, S., & Bunko, V. (2021, December). Features of the enameled wires insulation diagnosing by voltage. In Proceedings of the International Conference „Advanced applied energy and information technologies 2021”, 2021 (pp. 27-32). TNTU, Zhytomyr «Publishing house „Book-Druk “» LLC.

13. ДВО20У, ДПО20У, ДСО20У Юпітер-LED-панель.URL: [http://vatra.ua/download/PDF_VATRA/office/VATRA-2021-UKR_DVO20U DPO20U-DSO20U_\(Jupiter-LED-panel\).pdf](http://vatra.ua/download/PDF_VATRA/office/VATRA-2021-UKR_DVO20U DPO20U-DSO20U_(Jupiter-LED-panel).pdf)

14. ДСП65В URL: http://vatra.ua/download/PDF_VATRA/prom/VATRA UKR_DSP65V.pdf

15. ДББ28У [http://vatra.ua/download/PDF_VATRA/prom/VATRA-2018-UKR_DBB28U\(SELENA-LED-M\).pdf](http://vatra.ua/download/PDF_VATRA/prom/VATRA-2018-UKR_DBB28U(SELENA-LED-M).pdf)

16. Bohdan Orobchuk, Ivan Sysak, Oleh Buniak, Serhii Babiuk, Vadym Koval (2023) Development of the reactive power compensation laboratory bench and its integration into the training simulator of dispatch control system. The 3rd International Workshop on Information Technologies: Theoretical and Applied Problems 2023 (ITTAP 2023).

17. 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.

18. 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.