Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматизації, комп'ютерно–інтегрованих технологій та систем
(повна назва)

Кафедра Комп'ютерно–інтегрованих технологій, автоматизації, робототехніки та безпекової інженерії
(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
Пояснювальна записка

рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
Розроблення адаптивної системи керування локальним освітленням робочих зон
(тема)

Виконав:
здобувач 3 року навчання,
групи АКТАКІТу–23–1
Віталій ЄВТУШЕНКО
(власне ім'я, прізвище)

Спеціальність 174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка
(код і повна назва спеціальності)

Тип програми освітньо-професійна

Освітня програма Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
(повна назва освітньої програми)

Керівник проф. Ірина СЕЗОНОВА
(посада, власне ім'я, прізвище)

Допускається до захисту

Завідувач кафедри _____ _____ Ігор НЕВЛЮДОВ
(підпис) (власне ім'я, прізвище)

2026 р.

Я, Євтушенко Віталій Іванович, як здобувач вищої освіти ХНУРЕ, розумію і підтримую політику закладу із академічної доброчесності. Я не надавав і не одержував недозволену допомогу під час підготовки кваліфікаційної роботи. Я не використовував штучний інтелект для підготовки кваліфікаційної роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на віповідне джерело.

" 10 " червня 2026 р. Віталій ЄВТУШЕНКО

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматизації, комп'ютерно–інтегрованих технологій та систем

Кафедра Комп'ютерно–інтегрованих технологій, автоматизації, робототехніки та безпекової інженерії

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Спеціальність 174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка

(код і повна назва)

Тип програми освітньо-професійна

Освітня програма Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____

(підпис)

«__20__» __квітня__ 2026 р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

здобувачеві Євтушенко Віталію Івановичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розроблення адаптивної системи керування локальним освітленням робочих зон

затверджена наказом університету від 20.05.2026 р. № 411 Ст

2. Термін подання здобувачем роботи до екзаменаційної комісії 20.06.2026р.

3.Вихідні дані до роботи: Модель автоматизованої системи керування локальним освітленням робочих зон. База даних SQL. Програмний продукт

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі

4.1 Вступ

4.2 Аналіз предметної області

4.3 Розроблення апаратної складової системи локального освітлення виробничого підприємства

4.4 Розроблення моделі системи управління локальним освітленням

4.4 Вибір та обґрунтування програмних засобів для розробки програмного продукту

4.6 Програмна реалізація підсистеми управління. Опис керівництва користувача.

4.7 Висновки

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (п.5 включається до завдання за рішенням випускової кафедри) Графічний матеріал у вигляді презентації (10 с.)

6. Консультанти розділів роботи (п.6 включається до завдання за наявності консультантів згідно з наказом, зазначеним у п.1)

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Строк / терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз предметної області	20.04 – 24.04.2026	виконано
2	Опрацювання літератури за темою	25.04 –01.05.2026	виконано
3	Розроблення апаратної складової системи локального освітлення виробничого підприємства	02.05 –10.05.2026	виконано
4	Розроблення моделі системи управління локальним освітленням	11.05 –13.05.2026	виконано
5	Вибір та обґрунтування програмних засобів для розробки програмного продукту	14.05 –16.05.2026	виконано
6	Програмна реалізація підсистеми управління. Опис керівництва користувача	17.05 –31.05.2026	виконано
7	Висновки та перелік джерел посилань	01.06 –03.06.2026	виконано
8	Оформлення пояснювальної записки	04.06 –12.06.2026	виконано
9	Подання роботи до ЕК	20.06.2026	

Дата видачі завдання 20.04.2026 р.

Здобувач _____ _Віталій Євтушенко_____
(підпис) (власне ім'я, прізвище)

Керівник роботи _____ _професор Ірина Сезонова
(підпис) (посада, власне ім'я, прізвище)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 91 с., 10 табл., 21 рис., 4 дод., 24 джерела.

ВИРОБНИЧЕ ПІДПРИЄМСТВО, АВТОМАТИЗОВАНЕ УПРАВЛІННЯ, ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ, ОСВІТЛЕННЯ, РОБОЧІ ЗОНИ.

Значна частка електроенергії у виробничих та офісних приміщеннях сьогодні витрачається на освітлення, а традиційні системи не враховують змінні умови середовища, такі як рівень природного освітлення, присутність персоналу або характер виконуваних робіт.

Неефективне використання освітлювальних систем призводить не лише до перевитрат енергії, але й до зниження продуктивності праці та погіршення умов роботи.

Метою дипломної роботи є підвищення енергоефективності та якості освітлення робочих зон шляхом розроблення адаптивної системи керування локальним освітленням, що забезпечує автоматичне налаштування параметрів освітлення відповідно до поточних умов експлуатації.

Об’єктом дослідження є процес керування освітленням у робочих зонах виробничих та офісних приміщень.

Предметом дослідження є методи, моделі та алгоритми адаптивного керування освітленням на основі аналізу параметрів середовища (рівень природного освітлення, присутність людей, час доби тощо) та оптимізації енергоспоживання.

Сьогодні є актуальним розроблення адаптивних систем керування локальним освітленням, які здатні автоматично змінювати параметри освітлення відповідно до реальних потреб виробництва.

ABSTRACT

Explanatory note: 91 p., 10 tabl., 21 fig., 4 adj., 24 sources.

MANUFACTURING FACILITY, AUTOMATED CONTROL, ARTIFICIAL INTELLIGENCE, LIGHTING, WORK AREAS.

A significant proportion of the electricity consumed in industrial and office premises is currently spent on lighting, yet traditional systems do not take into account changing environmental conditions, such as the level of natural light, the presence of staff, or the nature of the work being carried out.

Inefficient use of lighting systems leads not only to energy wastage but also to reduced productivity and poorer working conditions.

The aim of the thesis is to increase the energy efficiency and quality of lighting of working areas by developing an adaptive local lighting control system that provides automatic adjustment of lighting parameters in accordance with current operating conditions.

The object of this study is the process of lighting control in work areas within industrial and office premises.

The subject of this study is the methods, models and algorithms for adaptive lighting control based on the analysis of environmental parameters (level of natural light, presence of people, time of day, etc.) and the optimisation of energy consumption.

Today, there is a pressing need to develop adaptive local lighting control systems capable of automatically adjusting lighting parameters in line with actual production requirements.

ЗМІСТ

Перелік скорочень……... 3
Вступ ……..…….. 4
1 Аналіз сучасного стану питання та обґрунтування технічного завдання…… 13
1.1 Сучасні технології бездротового зв’язку …… 13
1.2 Аналіз існуючих систем керування освітленням та сучасних підходів до автоматизації…… 15
1.3 Адаптивні підходи до автоматизації освітлення……. 18
2 Складові адаптивної системи освітлення робочих зон…… 20
2.1 Загальна характеристика адаптивної системи освітлення робочих зон…….. 20
2.2 Модель системи адаптивного керування освітленням…….. 24
2.3 Технічні складові адаптивних систем освітлення……. 26
2.3.1 Датчики освітленості та присутності……. 26
2.3.2 Контролери для обробки сигналів і формування керуючих команд в системах освітлення…… 29
2.3.3 Світильники з можливістю димування……. 33
3 Розробка адаптивної системи керування локальним освітленням робочих зон……... 34
3.1 Концепція та умови для розробки адаптивної системи керування освітленням на виробництві…… 34
3.2 Загальна структура програмного забезпечення системи……. 36
3.3 Розроблення алгоритму функціонування системи…….. 38
3.4 Реалізація програмних модулів системи…….. 40
3.5 Розроблення бази даних системи……. 43
3. 6 Опис програмних класів системи……. 49
4 Керівництво користувача……. 52
4.1 Структура проєкту і заповнення таблиць…… 52

4.2 Тестування проєкту…….. 60
5 Охорона праці…….. 63
5.1 Аналіз умов праці оператора автоматизованої системи керування освітленням…….. 63
5.2 Вимоги до мікроклімату виробничого приміщення…… 63
5.3 Вимоги до освітлення робочого місця…….. 64
5.4 Електробезпека та пожежна безпека…… 64
Висновки ……..……..……..…… 66
Перелік джерел посилання …… 69
Додаток А Повний скрипт створення бази даних проєкту …… 71
Додаток Б Програмний код проєкту …….....…… 78
Додаток В Апробація роботи……. 91
Додаток Г Демонстраційний матеріал…….. 99

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

ККД – коефіцієнт корисної дії;

КФС – кіберфізичні системи;

НДР – науково-дослідна робота;

ПЗ – програмне забезпечення;

СУБД – система управління базами даних;

ШІ – штучний інтелект;

ШІМ-контролер – широтно-імпульсний модулятор;

AGV – Automated Guided Vehicles (автоматизовані керовані транспортні засоби);

AMX – analog multiplex;

CCR – Constant Current Reduction (димування зменшенням постійного струму);

CPS – cyber-physical systems (кіберфізичні системи);

DALI – Digital Addressable Lighting Interface (цифрове керування освітленням по провідним мережам);

DMX (DMX512) – Digital Multiplex (цифровий протокол для швидкого та динамічного управління освітленням);

HCL – Human Centric Lighting (людино-орієнтоване освітлення);

IoT – Internet of Things;

KNX – Konnex (відкритий стандарт для автоматизації будівель);

LoRaWAN – Long Range Wide Area Network (мережевий протокол, який характеризується низьким енергоспоживанням);

LPWAN – Low-Power Wide-Area Network (енергоефективна мережа дальнього радіусу дії);

M2M – Machine-to-Machine) (технологія обміну даними між пристроями);

PLC – Power Line Communication (цифрове керування освітленням по провідним мережам електроживлення);

PWM – pulse-width modulation;

SI – Système International d'Unités, фр. (міжнародна система одиниць).

ВСТУП

У сучасних умовах зростання вартості енергоресурсів та підвищення вимог до енергоефективності будівель особливої актуальності набуває впровадження інтелектуальних систем керування освітленням. Значна частка електроенергії у виробничих та офісних приміщеннях витрачається саме на освітлення, при цьому традиційні системи не враховують змінні умови середовища, такі як рівень природного освітлення, присутність персоналу або характер виконуваних робіт.

Неефективне використання освітлювальних систем призводить не лише до перевитрат енергії, але й до зниження продуктивності праці та погіршення умов роботи. У зв’язку з цим актуальним є розроблення адаптивних систем керування локальним освітленням, які здатні автоматично змінювати параметри освітлення відповідно до реальних потреб користувачів.

Крім того, розвиток концепцій інтелектуальних будівель, Інтернету речей (IoT) та кіберфізичних систем створює передумови для впровадження більш гнучких і ефективних рішень у сфері освітлення, що додатково підсилює актуальність обраної теми.

Метою дипломної роботи є підвищення енергоефективності та якості освітлення робочих зон шляхом розроблення адаптивної системи керування локальним освітленням, що забезпечує автоматичне налаштування параметрів освітлення відповідно до поточних умов експлуатації.

Об’єктом дослідження є процес керування освітленням у робочих зонах виробничих та офісних приміщень.

Предметом дослідження є методи, моделі та алгоритми адаптивного керування освітленням на основі аналізу параметрів середовища (рівень природного освітлення, присутність людей, час доби тощо) та оптимізації енергоспоживання.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

– провести аналіз існуючих систем керування освітленням та сучасних

підходів до автоматизації освітлювальних систем;

– дослідити фактори, що впливають на рівень освітленості робочих зон та енергоспоживання;

– розробити математичну модель адаптивного керування освітленням;

– розробити алгоритм функціонування системи з урахуванням змінних умов середовища;

– розробити структурну схему системи керування локальним освітленням;

– виконати моделювання роботи системи та оцінити її ефективність;

– провести аналіз енергоефективності запропонованого рішення;

– розробити рекомендації щодо практичного впровадження системи;

– оформити кваліфікаційну роботу згідно з положенням про академічну доброчесність [1], стандарт з освіти [2] та ДСТУ 3008:2015 [3], а також з методичними вказівками з підготовки й оформлення кваліфікаційної роботи здобувачами першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 174 Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології освітньої програми «Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології» [4].

Тема кваліфікаційної роботи відповідає Цілям сталого розвитку України, зокрема, Цілі 8. Гідна праця та економічне зростання. Рішення завдань кваліфікаційної роботи сприяє підвищенню ефективності виробництва на засадах сталого розвитку та розвитку високотехнологічних конкурентних виробництв, що забезпечує виконання п. 8.2.

1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ПИТАННЯ ТА ОБГРУНТУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ

1.1 Сучасні технології бездротового зв’язку

Наразі на ринку систем автоматики спостерігається перехід до рішень нового покоління, які широко використовують принципи Інтернету речей (Internet of Things – IoT) та кіберфізичних систем (КФС, або cyber-physical systems – CPS). Це стало можливим завдяки доступності потужних і відносно дешевих мікроконтролерів, приймально-передавачів дротових і бездротових інтерфейсів, впровадженню енергозберігаючих стандартів бездротового зв'язку (таких як LoRaWAN, NB-IoT), а головне, завдяки розумінню того, які можливості відкриває застосування нових принципів навіть у тих галузях, де системи автоматики використовуються вже давно.

LoRaWAN (Long Range Wide Area Network) – це протокол мережі зв'язку з низьким енергоспоживанням та великим радіусом дії (LPWAN), призначений для IoT/M2M-пристроїв. Він забезпечує передачу невеликих обсягів даних на відстані до 15 км, забезпечуючи високу автономність пристроїв, що працюють від батарейок роками. LPWAN (Low-Power Wide-Area Network – енергоефективна мережа дальнього радіусу дії) – це тип бездротової технології передачі даних, спеціально розроблений для Інтернету речей (IoT) та міжмашинної взаємодії (M2M).

M2M (Machine-to-Machine) – це технологія, що дозволяє пристроям обмінюватися даними та взаємодіяти між собою через мережі (інтернет, GSM) без безпосередньої участі людини. Вона забезпечує автоматичний збір інформації, віддалений моніторинг та управління, що критично для систем IoT.

Ключові особливості та переваги:

– великий радіус дії: до 5 км у місті та до 15 км у сільській місцевості;

– енергоефективність: пристрої можуть працювати від однієї батареї від 2 років до 10 років;

– низька вартість: використовує неліцензійні частоти (наприклад, 868 Гц у Європі);

– двостороння передача: дозволяє не тільки збирати дані, а й керувати пристроями.

Архітектура системи:

– кінцеві пристрої (End-nodes): датчики, лічильники, трекери (LoRa-модулі);

– шлюзи (Gateways): приймають LoRa-сигнали та передають їх через інтернет (IP-мережі) до сервера;

– мережевий сервер (Network Server): обробляє дані, керує безпекою та мережею;

– прикладний сервер (Application Server): обробляє дані для кінцевого користувача.

Сфера застосування:

– розумні міста: моніторинг парковок, вуличне освітлення;

– ЖКГ: розумні лічильники води, газу, електроенергії;

– сільське господарство: датчики вологості ґрунту, відстеження худоби;

– логістика: відстеження активів на великих територіях.

Технологія LoRaWAN базується на модуляції LoRa, розробленій компанією Semtech, і є відкритим стандартом. Найбільш популярною платформою з відкритим кодом для розгортання таких мереж є The Things Network [8].

Поняття «кіберфізичні системи» у широкому сенсі позначає нове покоління систем автоматики. КФС широко використовують принципи глибокої інтеграції обчислювальної системи та фізичного об’єкта управління на найрізноманітніших рівнях: алгоритмів автоматичного управління, масштабу часу, методів взаємодії, конструкції. Врахування взаємного впливу властивостей

компонентів обчислювальної техніки та фізичних параметрів об'єкта управління дозволяє ще на етапі проєктування приймати рішення щодо вибору оптимальної організації обох складових єдиної КФС. Сучасна компонентна база та мережеві рішення дозволяють здійснити прорив у розширенні сфер застосування автоматизації, що й визначило появу концепції кіберфізичних систем. При цьому масштаб КФС може бути найрізноманітнішим: від таких малих пристроїв, як кардіостимулятори, до розподілених систем класу «розумне місто» або енергетичної системи цілої країни, яка не може існувати без використання Інтернету речей.

1.2 Аналіз існуючих систем керування освітленням та сучасних підходів до автоматизації

Сучасні системи керування освітленням являють собою інтелектуальні мережеві комплекси, що забезпечують взаємодію між джерелами світла, датчиками та керуючими пристроями з використанням централізованих або розподілених обчислювальних засобів. Такі системи застосовуються в житлових, комерційних і промислових об’єктах з метою забезпечення необхідного рівня освітленості, підвищення енергоефективності та комфорту користувачів.

Наведемо класифікацію існуючих систем керування освітленням.

Існуючі системи керування освітленням можна класифікувати за такими ознаками:

а) за рівнем автоматизації:

1) ручні (вимикачі, димери);

2) автоматизовані (з використанням датчиків руху, освітленості, часу);

3) інтелектуальні (інтегровані в системи «розумного будинку» або IoT).

б) за архітектурою:

1) локальні (окремі приміщення);

2) централізовані (керування з одного контролера);

3) розподілені (мережеві системи з обміном даними між вузлами).

в) за типом керування:

1) аналогові (постійна напруга від 0 В до10 В, Analog Multiplex (AMX));

2) цифрові (DALI, KNX, DMX);

3) бездротові (Bluetooth, ZigBee, Wi-Fi).

DALI (Digital Addressable Lighting Interface) – це міжнародний стандарт (IEC 62386) цифрового керування освітленням, розроблений спеціально для освітлювальних приладів.

KNX (Konnex) – це відкритий стандарт для автоматизації будівель (розумний дім), який керує не лише світлом, але й опаленням, вентиляцією, безпекою тощо.

DMX (Digital Multiplex) / DMX512 – це цифровий протокол, призначений для швидкого та динамічного управління освітленням.

ZigBee – це енергоефективний бездротовий протокол зв'язку для розумного будинку, що працює на частоті 2,4 ГГц. Він створює комірчасту (mesh) мережу, де пристрої (датчики, лампи) підсилюють сигнал, забезпечуючи високу стабільність. Потребує центрального шлюзу (хабу) для підключення до Wi-Fi, вирізняючись низьким споживанням енергії.

Типові функції систем автоматизованого освітлення включають:

– підтримання заданого рівня освітленості;

– зниження енергоспоживання за рахунок використання природного світла;

– автоматичне регулювання залежно від присутності людей;

– адаптацію освітлення до часу доби та сценаріїв використання;

– індивідуалізацію параметрів освітлення для користувача [9].

Ключовими елементами систем є датчики (руху, освітленості, присутності), контролери, виконавчі пристрої (світильники, димери) та програмне забезпечення.

Порівняння систем керування освітленням DALI, KNX та ZigBee за критеріями типу системи, середовища передачі сигналів, топологією та ін. надано в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Порівняння систем керування освітленням DALI, KNX та ZigBee

Критерій	DALI	KNX	ZigBee
1	2	3	4
Тип системи	Спеціалізована (освітлення)	Універсальна (BMS)	Бездротова IoT
Середовище передачі	Дротова (двожильна шина)	Дротова (шина TP) / IP	Бездротова (радіоканал)
Стандарт	IEC 62386	EN 50090, ISO/IEC 14543	IEEE 802.15.4
Адресація	До 64 пристроїв	До 65 536 пристроїв	До ~65 000 вузлів
Топологія	Лінія, зірка, дерево	Лінія, дерево, зірка	Mesh–мережа (сітчаста мережа)
Функціональність	Керування освітленням	Повна автоматизація	IoT-пристрої
Масштабованість	Обмежена	Висока	Висока
Складність	Низька–середня	Висока	Низька
Вартість	Середня	Висока	Низька (середня)
Надійність	Висока	Дуже висока	Середня
Гнучкість	Обмежена	Висока	Дуже висока
Енергоефективність	Висока	Висока	Висока
Сфера застосування	Офіси, промисловість	Розумні будинки	Розумні будинки

Аналіз наведеної таблиці 1.1 дозволяє зробити наступні висновки:

– DALI доцільно використовувати для локальних систем освітлення з відносно простою логікою керування;

– KNX є найбільш потужним рішенням для комплексної автоматизації будівель, але потребує значних витрат і складного налаштування;

– ZigBee забезпечує максимальну гнучкість і простоту розгортання завдяки бездротовій природі, однак може поступатися у надійності провідним системам.

1.3 Адаптивні підходи до автоматизації освітлення

Аналіз сучасних досліджень та практики дозволяють виділити такі основні підходи до автоматизації керування освітленням:

– сенсорне керування (Sensor-based control): освітлення регулюється на основі даних з датчиків руху, присутності та рівня освітленості. Це дозволяє знизити енергоспоживання до 30% і більше;

– daylight harvesting (використання природного освітлення): fвтоматичне зменшення штучного освітлення при достатньому рівні природного світла;

– таймерне та календарне керування: регулювання освітлення за заданими часовими сценаріями (день/ніч, робочі/вихідні дні);

– інтелектуальні системи (Smart Lighting): використання IoT, хмарних технологій та мобільних застосунків для дистанційного керування;

– адаптивні та самонавчальні системи: застосування алгоритмів штучного інтелекту, які враховують поведінку користувачів та умови середовища, забезпечуючи оптимальний режим освітлення (наприклад, RadiyLED [10]);

– людино-орієнтоване освітлення (HCL – Human Centric Lighting): динамічне регулювання інтенсивності та кольорової температури світла відповідно до біоритмів людини.

Сучасні тенденції розвитку систем керування освітленням включають:

– інтеграцію з системами «розумних будинків»;

– використання бездротових технологій та IoT;

– впровадження штучного інтелекту;

– підвищення енергоефективності та екологічності;

– розвиток адаптивних і самонавчальних алгоритмів керування.

Загалом, автоматизація освітлювальних систем є важливим напрямом підвищення енергоефективності, оскільки освітлення становить значну частку енергоспоживання будівель, а його оптимізація дозволяє суттєво знизити витрати енергії.

Переваги адаптивних систем освітлення – це:

– значне зниження енергоспоживання;

– підвищення комфорту користувачів;

– автоматизація процесів керування;

– гнучкість та масштабованість;

– інтеграція з системами «розумного будинку».

Недоліки:

– вища початкова вартість впровадження;

– складність налаштування;

– залежність від коректності роботи датчиків;

– потреба в технічному обслуговуванні.

Для рішення завдань, поставлених в даній кваліфікаційні роботі будемо використовувати підхід, який застосовується для адаптивних та самонавчальних систем з елементами штучного інтелекту [10].

2 СКЛАДОВІ АДАПТИВНОЇ СИСТЕМИ ОСВІТЛЕННЯ РОБОЧИХ ЗОН

2.1 Загальна характеристика адаптивної системи освітлення

Адаптивні системи освітлення є сучасним напрямом розвитку автоматизованих систем керування, які забезпечують динамічну зміну параметрів освітлення залежно від умов навколишнього середовища, поведінки користувачів та зовнішніх факторів. На відміну від традиційних систем, що працюють за фіксованими сценаріями, адаптивні системи здатні змінювати інтенсивність, спектральний склад та інші характеристики світлового потоку в режимі реального часу.

Основною метою впровадження адаптивних систем є підвищення енергоефективності, забезпечення комфортних умов праці та зниження експлуатаційних витрат. Враховуючи, що освітлення становить значну частку енергоспоживання будівель (від 20% до 40%), застосування адаптивного керування дозволяє досягти суттєвої економії електроенергії.

Адаптивні системи освітлення широко застосовуються в офісних приміщеннях, промислових об’єктах, навчальних закладах, а також у житлових будинках у складі концепції «розумного будинку».

Функціонування адаптивних систем освітлення базується на зборі, обробці та аналізі інформації про стан середовища з подальшим формуванням керуючих впливів на освітлювальні пристрої.

До основних елементів таких систем належать:

– датчики освітленості (визначають рівень природного та штучного світла);

– датчики присутності та руху (фіксують наявність людей у приміщенні);

– контролери (здійснюють обробку сигналів і формування керуючих команд);

– виконавчі пристрої (світильники з можливістю димування, тобто зміни яскравості);

– програмне забезпечення (яке реалізує алгоритми адаптації).

Прикладами таких систем є система керування «Розумне місто» (рис. 2.1) та система керування освітленням для тваринництва (рис. 2.2), розроблені українською компанією RadiyLED.

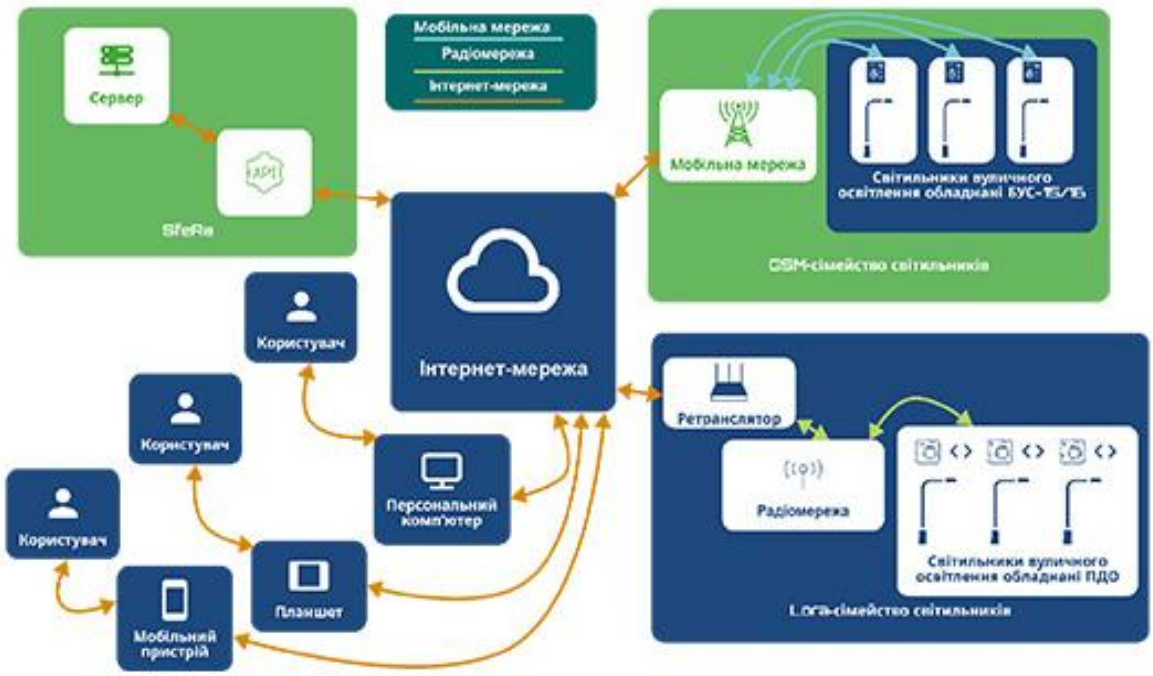


Рисунок 2.1 – Система керування «Розумне місто» [12]

Основними елементами цих систем є розумні лампи (Smart Lighting), регулювання якими відбувається через Wi-Fi або Bluetooth. Можуть застосовуватись системи DALI (Digital Addressable Lighting Interface), які здійснюють гнучке цифрове керування освітленням по провідним мережам. Також використовуються системи PLC (Power Line Communication), які здійснюють гнучке цифрове керування освітленням по провідним мережам електроживлення. ШІ забезпечує адаптивність, тобто зміну сценарію освітлення в залежності від поведінки людей (тварин) та зовнішні умови.

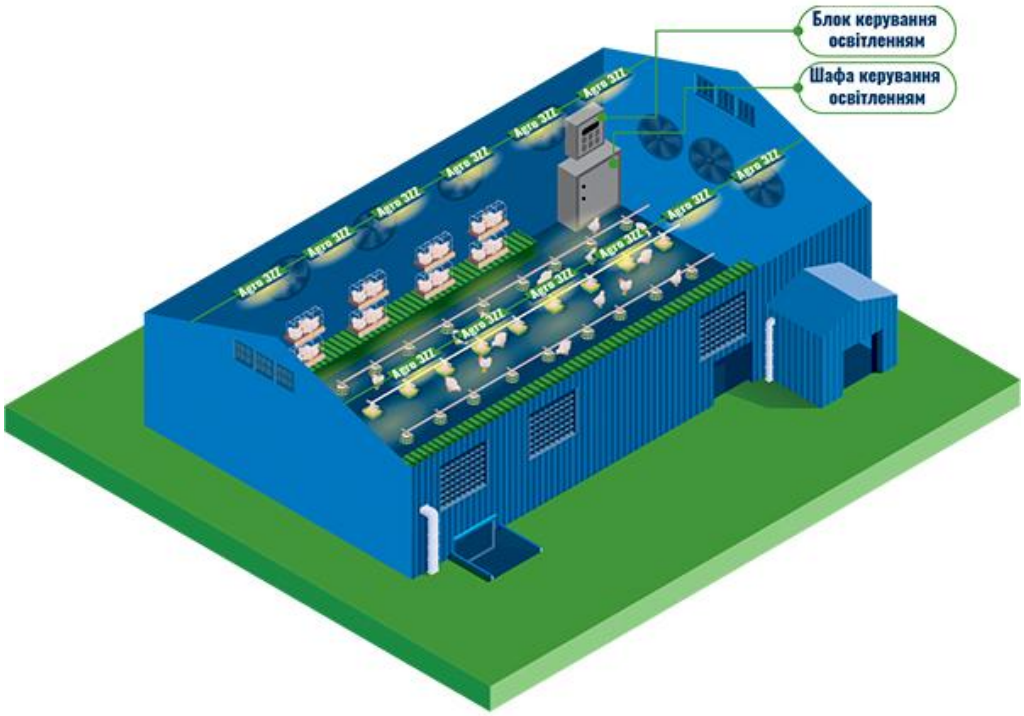


Рисунок 2.2 – Система керування освітленням для тваринництва [10]

Принцип роботи системи полягає у порівнянні фактичного рівня освітленості з заданим нормативним значенням і автоматичному регулюванні потужності світильників. У загальному вигляді це можна описати як задачу підтримання оптимального рівня освітленості:

$$E = E_{nat} + E_{art}\ , \tag{2.1}$$

де E – загальна освітленість;

E_{nat} – природна освітленість;

E_{art} – штучна освітленість.

Система адаптивно змінює E_{art} таким чином, щоб забезпечити необхідне значення Eпри мінімальному енергоспоживанні.

Всі величини в (2.1) мають однакову одиницю виміру – люкс (лк). Люкс – це одиниця освітленості в міжнародній системі одиниць SI:

$$1\ \text{лк} = 1\ \frac{\text{лм}}{\text{м}^2}, \tag{2.2}$$

де лм (люмен) – світловий потік;

$м^2$ – площа поверхні.

Нормування освітленості робочих місць в Україні здійснюється відповідно до ДБН В.2.5-28:2018 «Природне і штучне освітлення», гармонізованого з європейським стандартом EN 12464-1 [12].

Освітленість нормується залежно від типу діяльності, точності виконуваних робіт та зорового навантаження (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – Нормативні значення освітленості для приміщень

Тип приміщення / робіт	Нормована освітленість, лк	Коментар
Житлові кімнати	100–200	Загальне освітлення
Коридори, проходи	50–100	Допоміжні зони
Офіс (робота за ПК)	300–500	Робоче місце
Конференц-зали	300	Регульоване освітлення
Навчальні аудиторії	300–500	Читання та письмо
Лабораторії	500–750	Підвищена точність
Промислові роботи	300–500	Середня точність
Високоточні роботи	750–1000	Контроль якості
Складські приміщення	100–200	Орієнтація
Медичні кабінети	500–1000	Залежить від процедур

Основні вимоги стандарту ргідно з EN 12464-1, крім освітленості враховуються також:

– рівномірність освітлення ($U_0 \geq 0,4–0,6$);

– обмеження сліпучої дії (UGR);

– індекс передачі кольору ($Ra \geq 80$);

– кольорова температура (залежно від типу приміщення);

– відсутність мерехтіння.

У контексті адаптивного керування освітленням ці норми використовуються як цільові значення:

– система підтримує E на рівні 300–500 лк для офісу;

– автоматично змінює E_{art}, якщо змінюється E_{nat};

– забезпечує відповідність стандартам при мінімальному енергоспоживанні.

2.2 Модель системи адаптивного керування освітленням

Адаптивні системи освітлення часто базуються на оптимізаційних моделях, метою яких є мінімізація енергоспоживання при забезпеченні нормативного рівня освітленості:

$$\min\ P = \sum_{i=1}^{n} P_i \tag{2.3}$$

за умови:

$$E_{min} \le E \le E_{max}, \tag{2.4}$$

де P_i – потужність і-го світильника;

E_{min}, E_{max} – допустимі межі освітленості.

У більш складних моделях враховуються:

– розташування світильників;

– відбиття світла від поверхонь;

– часові зміни природного освітлення;

– поведінка користувачів.

Узагальнений алгоритм роботи адаптивної системи зображено на рис. 2.3.

Алгоритм роботи адаптивної системи освітлення базується на циклічній обробці даних із сенсорів. На першому етапі здійснюється збір інформації про рівень освітленості та наявність користувачів у приміщенні. Далі система аналізує отримані дані та визначає необхідний рівень штучного освітлення.

Якщо в приміщенні присутні люди, виконується розрахунок оптимального рівня освітленості відповідно до нормативних вимог. У разі недостатнього освітлення система підвищує яскравість світильників, а при надлишковому –

зменшує її. Якщо ж приміщення порожнє, система переводить освітлення в енергозберігаючий режим або вимикає його.

Процес має циклічний характер, що забезпечує постійну адаптацію до змін умов середовища.

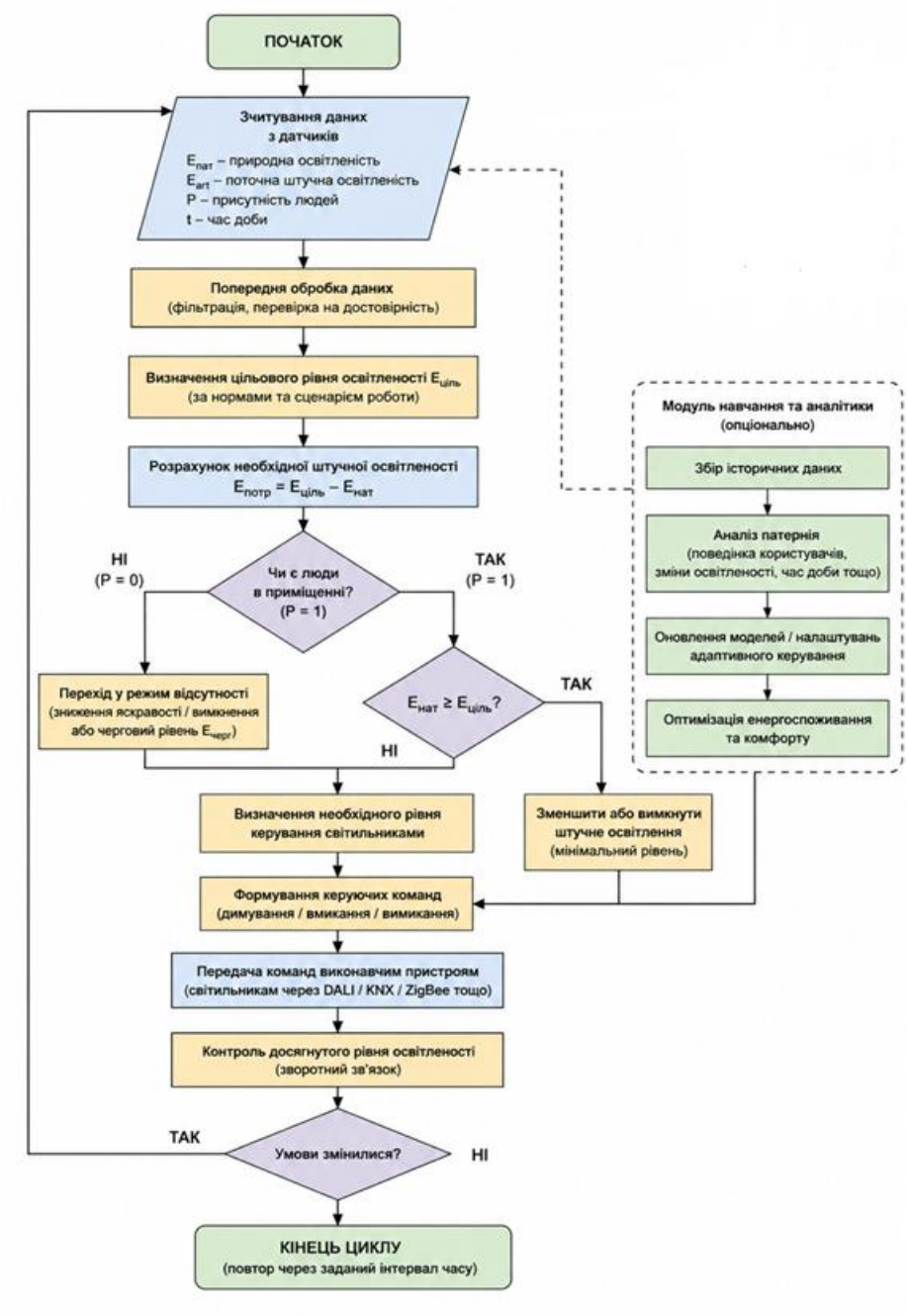


Рисунок 2.3 – Узагальнений алгоритм роботи адаптивної системи керування освітленням

Адаптивні системи освітлення базуються на використанні сенсорних даних та алгоритмів оптимізації для підтримання необхідного рівня освітленості при мінімальному енергоспоживанні [12,13,14].

2.3 Технічні складові адаптивних систем освітлення

Функціонування адаптивних систем освітлення базується на зборі, обробці та аналізі інформації про стан середовища з подальшим формуванням керуючих впливів на освітлювальні пристрої.

До основних елементів таких систем належать:

– датчики освітленості, які визначають рівень природного та штучного світла;

– датчики присутності та руху, які фіксують наявність людей у приміщенні;

– контролери, які здійснюють обробку сигналів і формування керуючих команд;

– виконавчі пристрої, а саме світильники з можливістю димування (керування яскравістю);

– програмне забезпечення, яке реалізує алгоритми адаптації.

2.3.1 Датчики освітленості та присутності

Датчики освітленості (фотодатчики) – це пристрої, призначені для вимірювання інтенсивності світла в навколишньому середовищі, що охоплює як природне (сонячне), так і штучне світло.

Основні аспекти роботи датчиків освітленості:

– функціонал: вони автоматично регулюють системи освітлення (вмикають/вимикають або змінюють яскравість) залежно від часу доби та поточного рівня світла;

– застосування: використовуються для зовнішнього освітлення, у під'їздах, приватних будинках, а також у «розумних» системах, які оцінюють загальну освітленість, поєднуючи природне та штучне світло;

– принцип дії: найчастіше базуються на фотоелектричних елементах, які реагують на кількість світла, що падає на їхню поверхню;

– вимірювання: часто застосовуються для контролю норми освітленості на робочих місцях, вимірюючи її в люксах (lux);

– комбіноване використання: сучасні датчики (наприклад, HTS або частіше датчик присутності/світла Theben-HTS) здатні вимірювати долю природного світла та коригувати штучне освітлення для енергоефективності (рис. 2.4).



Рисунок 2.4 – Датчик thePrema, який неодноразово нагороджувався за естетичний дизайн

Датчик присутності працює за тим же принципом, що і датчик руху: він уловлює теплове випромінювання у своїй зоні контролю. Якщо фіксується теплове випромінювання, наприклад, від людини що пройшла повз, датчик перетворює його у вимірюваний електричний сигнал та вмикає світло.

Різниця між датчиками руху та присутності полягає у чутливості сенсорів. Чутливість датчика присутності значно вища, тому він реагує навіть на найменші рухи. Його зона контролю розбивається на 1000 більш дрібних зон, розташованих у шаховому порядку. Навіть мінімальні зміни у тепловій картинці,

наприклад, при наборі на клавіатурі, реєструються. Датчик руху, навпаки, реагує лише на значні зміни теплової картини, наприклад, при ходьбі.

Друга різниця – у вимірюванні освітленості. Датчик руху робить однократне вимірювання, коли, виявивши рух, вмикає світло. Якщо рух продовжується, світло лишається увімкненим не дивлячись на те, що денного світла вже достатньо та встановлений поріг спрацьовування давно перевищений. Тобто освітлення працює, хоча воно й непотрібне. Датчик присутності навпаки, постійно вимірює рівень освітленості, і в разі перевищення встановленого значення, вимикає світло навіть якщо рухи продовжують реєструватися.

Фотометрія.

Керування освітленням за допомогою датчиків присутності базується, по перше – на реєстрації рухів, по друге – на фотометрії. Датчик присутності постійно вимірює рівень освітленості у приміщенні і тому може вмикати світло не лише при недостатній освітленості, але й вимикати при достатній. Звучить це просто, та у дійсності датчик повинний за увімкненого світла оцінити, чи достатньо буде денного освітлення після вимкнення штучного. У цьому режимі датчик присутності вимірює суму штучного та денного світла. Для того щоб при збільшенні денного світла вимкнути штучне, датчик повинен знати частку штучного світла у загальній освітленості (рис. 2.5). Це значення він запам’ятовує та постійно вираховує з загальної освітленості, розраховуючи долю денного світла. Перевагою змішаного вимірювання освітленості є можливість роботи з будь-якими джерелами світла: світлодіодними, галогенними або люмінесцентними.



Рисунок 2.5 – Графік вимірювання змішаної освітленості датчиком присутності

Приклади використання та типи датчиків Theben-HTS:

– офіси та конференц-зали (Серія PlanoSpot/Ceiling). Датчик встановлюється на стелі. Коли людина входить, світло вмикається. Якщо в кімнату потрапляє багато денного світла, датчик автоматично зменшує яскравість світильників або вимикає їх;

– коридори та складські приміщення (Серія LightSpot). Високочутливі датчики, які вмикають світло лише у тій зоні, де є рух, та вимикають його через декілька хвилин після того, як людина пішла;

– виробничі приміщення. Створення систем постійної підтримки освітленості, щоб зекономити електроенергію, коли похмуро або наприкінці робочого дня;

– зовнішнє освітлення (Датчики руху). Активують вуличні прожектори при виявленні руху на території, маючи при цьому налаштування чутливості, щоб не спрацьовувати на дрібних тварин чи вітер [15].

Переваги систем Theben-HTS – це енергоефективність (світло працює тільки тоді, коли потрібно), комфорт (автоматичне регулювання яскравості, не треба вмикати/вимикати вручну) та надійність.

2.3.2 Контролери для обробки сигналів і формування керуючих команд в системах освітлення

Контролери для систем освітлення, які здійснюють обробку сигналів (від датчиків, пультів, інтерфейсів) і формування керуючих команд, є мозком сучасних систем автоматизації. Вони адаптують світло під потреби користувача, підвищують комфорт та економлять електроенергію [16].

Основними технологіями керування освітленням (димування) є:

– 0-10В/DALI/DMX – це протоколи передачі сигналу, де 0-10В – простий аналоговий метод, DALI – розумний адресний протокол для будівель, DMX – швидкий протокол для сцени/архітектури;

– PWM (Pulse Width Modulation, ШІМ) – метод керування яскравістю світлодіодів, який забезпечує плавне регулювання без мерехтіння [16].

Нижче наведено класифікацію та характеристики таких контролерів.

Типи контролерів за функціоналом та інтерфейсом:

– SMART-контролери (Wi-Fi, Bluetooth, Zigbee). Приймають сигнали від мобільних додатків (Tuya, Smart Life) або голосових помічників. Обробляють команди (увімкнення, димування, зміна сцени) і відправляють їх на стрічки або світильники;

– RGB/RGBW/RGB+CCT контролери. Обробляють сигнал від радіопультів (RF) або сенсорних панелей, формуючи команди для зміни кольору (RGB) та яскравості;

– адресні (SPI) контролери. Обробляють цифрові сигнали і формують команди для кожного окремого світлодіода (пікселя) в стрічці, дозволяючи створювати ефекти «біжить вогонь»;

– датчикові контролери. Обробляють сигнали від інфрачервоних (IR) датчиків руху або дотику, формуючи команду на плавне увімкнення/вимкнення;

– DMX-контролери (професійні). Обробляють складні сценарії та сигнали (наприклад, звукові), формуючи цифрові команди (DMX512) для архітектурного або сценічного освітлення;

– DALI (Digital Addressable Lighting Interface). Цифровий протокол для комерційного освітлення. Контролер обробляє команди від систем «розумного будинку» та керує кожним світильником окремо (до 64 пристроїв на лінії) [16].

Актуальність використання LED-стрічок для димування (регулювання яскравості) сьогодні висока як ніколи. Це зумовлено розвитком концепції «розумного дому», трендом на біодинамічне освітлення (Human-Centric Lighting) та потребою в жорсткій економії електроенергії.

Контролер LED POS DALI на PWM 12-24 В 150 Вт (POS-DA01) використовує PWM (Pulse Width Modulation, ШІМ). Це метод, при якому світлодіод швидко вмикається і вимикається. Чим довша пауза "вимкнено", тим тьмяніше світло. Це найпоширеніший спосіб димування LED-стрічок (рис. 2.6).



Рисунок 2.6 – Контролер LED POS DALI на PWM 12-24 В 150 Вт (POS-DA01)

Контролер Moooi 0-10V Remote driver підтримує аналоговий протокол 0-10В / 1-10В (рис. 2.7). Напруга 0-10В відповідає рівню яскравості 0-100%. Найчастіше використовується для простого димування архітектурного освітлення.



Рисунок 2.7 – Контролер Moooi 0-10V Remote driver

Контролер DALI (Digital Addressable Lighting Interface) – це інтелектуальний пристрій керування освітленням, що працює за відкритим цифровим протоколом для автоматизації. Він дозволяє адресно керувати кожним світильником (до 64 пристроїв на лінію), регулювати яскравість (від 0% до 100%), створювати сценарії та групи, забезпечуючи двосторонній зв'язок (рис. 2.8).

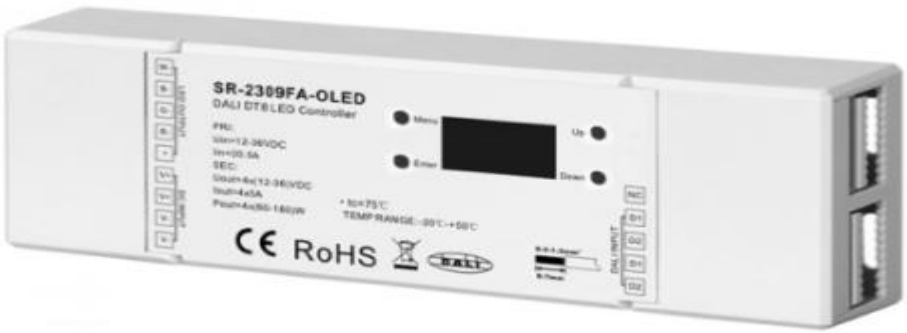


Рисунок 2.8 – Контролер SR-2309FA-OLED (DALI DT8 Master)

DMX512 контролер – це професійний пристрій для управління сценічним освітленням, світлодіодними стрічками, прожекторами та спецефектами, що працює за цифровим протоколом, який дозволяє адресувати до 512 каналів даних. Це стандарт для створення складних світлових сцен, архітектурного підсвічування, концертів та шоу, забезпечуючи точне управління кольором, яскравістю та рухом (рис. 2.9).



Рисунок 2.9 – Контролер DMX512 5 каналів Mi-Light CCT 20A DC12V~24V D5-CX

2.3.3 Світильники з можливістю димування

Світильники з можливістю димування (регулювання яскравості) дозволяють адаптувати освітлення від яскравого до затишного, створюючи комфортну атмосферу та економлячи енергію. Найпопулярніші варіанти включають LED-люстри з пультом, трекові системи та розумні лампи (smart), які керуються через застосунки або спеціальні настінні димери (рис. 2.10)



Рисунок 2.10 – Настінний «розумний» світлодіодний диммер 6А з ІЧ-пультом дистанційного керування для світлодіодної лампи

Світильники з можливістю димування класифікують наступним чином:

– стельові LED-панелі, трекові світильники (магнітні/звичайні). Вони часто підтримують димування та зміну колірної температури (від 3000 K до 6000 K);

– джерела світла: LED-лампи (E27, GU10, G9) з маркуванням "dimmable", які сумісні зі спеціальними сучасними димерами;

– смарт-лампи (наприклад, Philips Hue) часто мають Bluetooth/ZigBee для регулювання зі смартфона.

Не всі світлодіодні лампи працюють з димерами.

3 РОЗРОБКА АДАПТИВНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЛОКАЛЬНИМ ОСВІТЛЕННЯМ РОБОЧИХ ЗОН

3.1 Концепція та умови для розробки адаптивної системи керування освітленням на виробництві

Автоматизація освітлення у приміщеннях зі змішаним типом праці (люди та роботи) є одним із найефективніших кроків для оптимізації витрат підприємства. Роботам (промисловим маніпуляторам, конвеєрам, AGV-візкам) для навігації та виконання завдань зазвичай взагалі не потрібне видиме світло – вони орієнтуються за допомогою лідарів, ультразвуку, інфрачервоних або магнітних датчиків.

Тому актуальність димування та автоматизації тут полягає у динамічному розділенні освітлення на «людські» та «роботизовані» зони.

Реалізація автоматичного керування у таких зонах реалізується за наступними сценаріями:

– сценарій «Робот у зоні / Людина поза зоною» (економія до 80%). Коли в цеху чи на складі працюють виключно автоматизовані системи, LED-освітлення автоматично димується до мінімального рівня (наприклад, 10% для чергового освітлення камери відеонагляду) або вимикається взагалі. Це колосально знижує рахунки за електроенергію;

– сценарій «Поява людини», основними критеріями якого є безпека та комфорт. Як тільки в робочу зону заходить оператор, інженер з обслуговування або налагоджувальник, датчики миттєво фіксують його присутність. Система плавно (без стресового для очей спалаху) виводить яскравість LED-освітлення на 100% (відповідно до норм охорони праці, наприклад, 300–500 Лк). Після того як людина залишає зону, світло знову плавно згасає;

– комбіноване комп'ютерне бачення (Machine Vision). Якщо роботи на виробництві використовують камери оптичного розпізнавання (технічний зір)

для сортування чи збирання деталей, їм потрібне світло, але суворо стабільне. Автоматика може підтримувати локальне підсвічування лише в точці роботи камери, залишаючи решту цеху в темряві.

Для промислових масштабів побутові Wi-Fi чи Bluetooth рішення не підходять через завади від станків та великі відстані.

Тут застосовують промислові стандарти:

– протокол DALI (Digital Addressable Lighting Interface) – золотий стандарт для виробництв. Дозволяє керувати кожним світильником або метром LED-стрічки окремо. Можна гнучко перепрограмувати зони освітлення через ПЗ без переробки проводки, якщо лінію роботів перенесли в інший куток цеху [17,18];

– промислові датчики. Використовуються комбіновані датчики (інфрачервоні + мікрохвильові), які не мають «сліпих зон» і чітко відрізняють рух людини від металевих частин робота;

– інтеграція з АСУ ТП (SCADA). Контролери освітлення підключаються до загальної системи керування підприємством. Система «знає» графік роботи роботів та людей і заздалегідь готує освітлення [19].

При розробці технічної складової системи треба враховувати певні технічні виклики, які можуть завадити роботі автоматизованої системи керування LED-освітленням.

Перш за все, це промислові завади: потужні двигуни роботів створюють сильні електромагнітні завади в мережі. Блоки живлення та димери для LED повинні мати промисловий захист (гальванізацію, фільтри), інакше світло буде мерехтіти, а обладнання швидко згорить.

При димуванні світлодіодів низької якості виникає мікромерехтіння. Для роботів-камер це загрожує збоями в розпізнаванні деталей (ефект стробоскопа), а у людей викликає швидку втому та головний біль. Потрібно використовувати димери з високою частотою ШІМ (від 10 кГц до 20 кГц) або димування зменшенням постійного струму (CCR).

Надійність обладнання також повинна відповідати стандарту. На виробництві блоки живлення мають бути захищені від пилу та вологи (мінімум

IP65/IP67) і мати високий коефіцієнт корисної дії (ККД), щоб не перегріватися в закритих щитових [11].

Для деталізації програмного рішення потрібно задати параметри приміщення, а саме:

– площа або висота стелі у цих виробничих приміщеннях;

– тип роботів, які використовується (рухомі візки AGV, великі стаціонарні маніпулятори чи конвеєрні лінії);

– чи використовують роботи камери технічного зору, яким критично важлива точна яскравість світла.

3.2 Розробка програмного забезпечення

Програмне забезпечення адаптивної системи керування локальним освітленням робочих зон є ключовим елементом реалізації інтелектуального управління освітлювальною мережею. Основним призначенням програмного забезпечення є забезпечення автоматичного регулювання рівня освітленості відповідно до параметрів навколишнього середовища, присутності користувачів та встановлених режимів роботи.

Розроблене програмне забезпечення забезпечує:

– збір даних із датчиків освітленості та руху;

– аналіз отриманих параметрів у режимі реального часу;

– автоматичне регулювання яскравості освітлювальних приладів;

– підтримку адаптивних алгоритмів керування;

– зниження енергоспоживання;

– забезпечення комфортних умов праці;

– моніторинг стану системи;

– збереження параметрів роботи.

Структурно програмне забезпечення системи складається з таких основних модулів:

– модуль збору даних;

– модуль обробки інформації;

– модуль прийняття рішень;

– модуль керування освітленням;

– модуль моніторингу та інтерфейсу користувача;

– модуль енергетичної оптимізації.

Функціональна структура програмного забезпечення наведена на рисунку 3.1.

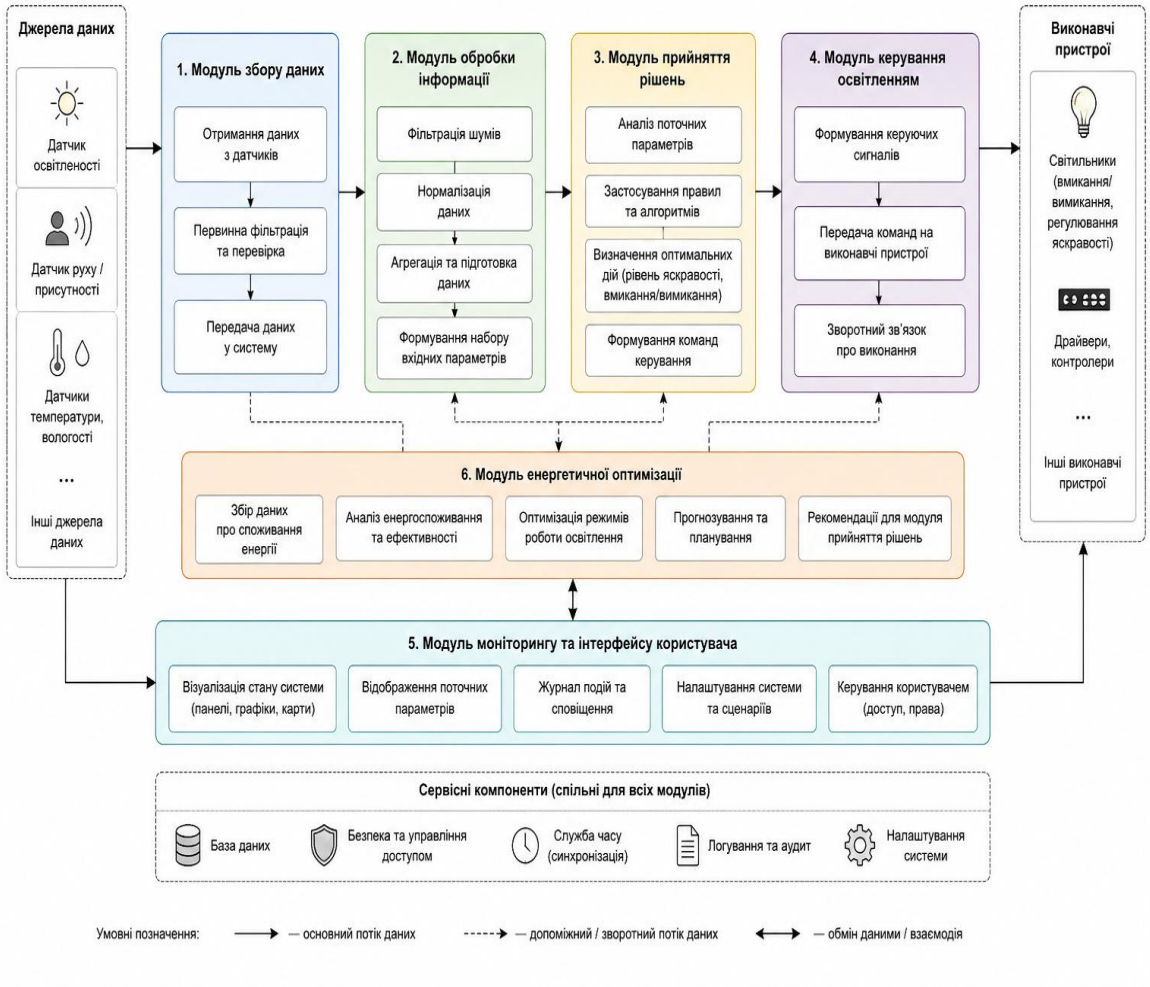


Рисунок 3.1 – Архітектура програмного забезпечення адаптивної системи керування освітленням

Принцип роботи програмного забезпечення полягає у циклічному виконанні таких етапів:

– зчитування показників датчиків;

– фільтрація та обробка інформації;

– аналіз поточного рівня освітленості;

– порівняння отриманих значень із нормативними параметрами;

– формування керуючого сигналу;

– передача команд виконавчим пристроям;

– контроль результату регулювання.

Для забезпечення стабільної роботи системи програмне забезпечення реалізує механізми захисту від помилкових спрацювань датчиків, перевантаження мережі та аварійних режимів.

3.3 Розроблення алгоритму функціонування системи

Під час розробки програмного забезпечення адаптивної системи керування локальним освітленням було враховано вимоги до надійності, швидкодії, масштабованості та можливості інтеграції із сучасними мікроконтролерними платформами.

Для реалізації програмної частини системи було обрано мову програмування C++, оскільки вона забезпечує:

– високу швидкість виконання;

– ефективне використання апаратних ресурсів;

– підтримку об’єктно-орієнтованого програмування;

– можливість роботи з периферійними пристроями;

– підтримку вбудованих систем.

Для реалізації адаптивного алгоритму керування використовуються:

– алгоритми порогового регулювання;

– алгоритми плавного димування;

– часові затримки;

– адаптивні коефіцієнти регулювання.

Під час вибору програмної платформи особлива увага приділялася таким критеріям:

– стабільність роботи;

– сумісність із периферійними пристроями;

– низьке енергоспоживання;

– простота оновлення програмного забезпечення;

– можливість віддаленого моніторингу.

Алгоритм роботи адаптивної системи керування локальним освітленням реалізує автоматичну зміну рівня освітлення відповідно до умов експлуатації.

Основними вхідними параметрами системи є:

– поточний рівень природного освітлення;

– наявність користувача у робочій зоні;

– часовий режим роботи;

– встановлені нормативні параметри освітленості.

Вихідним параметром є рівень яскравості світлодіодного освітлювача.

Алгоритм функціонування системи включає такі етапи:

– ініціалізація периферійних модулів;

– завантаження параметрів конфігурації;

– зчитування даних із датчиків;

– аналіз отриманих значень;

– визначення необхідного рівня освітленості;

– формування керуючого сигналу;

– передача команд драйверу освітлення;

– контроль стану системи;

– повторення циклу керування.

Для уникнення частих перемикань освітлення використовується механізм гістерезису.

У загальному вигляді керуючий вплив визначається залежністю:

$$L_{ctrl} = L_{norm} - L_{env}, \quad (3.1)$$

де L_{ctrl}– необхідний рівень штучного освітлення;

L_{norm}– нормативний рівень освітленості;

L_{env}– поточний рівень природного освітлення.

Для плавного регулювання яскравості використовується широтно-імпульсна модуляція.

Коефіцієнт заповнення D ШІМ-сигналу визначається співвідношенням:

$$D = \frac{t_{on}}{T} \cdot 100\%, \quad (3.2)$$

де D– коефіцієнт заповнення;

t_{on}– тривалість активного імпульсу, час увімкнення;

T– період сигналу (час одного повного циклу). Може бути сумою часу увімкнення t_{on} та часу вимкнення t_{off}.

У процесі роботи програмне забезпечення безперервно аналізує зміни зовнішнього освітлення та виконує адаптацію параметрів керування.

3.4 Реалізація програмних модулів системи

Програмне забезпечення системи реалізоване за модульним принципом, що забезпечує простоту модернізації та масштабування.

Модуль збору даних.

Модуль збору даних відповідає за:

– опитування датчиків;

– фільтрацію шумів;

– перетворення аналогових сигналів у цифрові значення;

– передачу інформації до модуля обробки.

Для зменшення впливу перешкод використовується усереднення результатів вимірювань.

Середнє значення освітленості E_{cp} визначається за формулою:

$$E_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^{n} L_i}{n}, \quad (3.3)$$

де L_i– окремі виміряні значення;

n– кількість вимірювань.

Модуль обробки інформації.

Модуль обробки інформації виконує:

– аналіз показників датчиків;

– визначення поточного режиму роботи;

– оцінку необхідного рівня освітленості;

– формування параметрів керування.

Для забезпечення стабільності роботи системи використовується фільтрація різких змін сигналу.

Модуль керування освітленням.

Модуль керування освітленням реалізує:

– генерацію ШІМ-сигналів;

– плавну зміну яскравості;

– підтримку встановлених параметрів;

– аварійне вимкнення системи.

Регулювання здійснюється відповідно до розрахованого рівня освітлення.

У разі відсутності користувача система переходить у режим енергозбереження.

Модуль моніторингу.

Модуль моніторингу забезпечує:

– відображення поточних параметрів;

– ведення журналу подій;

– контроль помилок;

– передавання даних оператору.

Для візуалізації можуть використовуватися:

– LCD-дисплеї;

– веб–інтерфейс;

– мобільний застосунок;

– SCADA-система.

Розроблення інтерфейсу користувача.

Інтерфейс користувача забезпечує взаємодію оператора із системою керування освітленням.

Основними функціями інтерфейсу є:

– відображення рівня освітленості;

– індикація режиму роботи;

– встановлення параметрів керування;

– зміна режимів роботи;

– отримання повідомлень про несправності.

Інтерфейс повинен відповідати таким вимогам:

– простота використання;

– зрозумілість навігації;

– висока швидкодія;

– наочне представлення інформації.

У системі можуть бути реалізовані такі режими роботи:

– автоматичний режим;

– ручний режим;

– енергозберігаючий режим;

– нічний режим;

– аварійний режим.

Для підвищення зручності експлуатації доцільним є використання графічного інтерфейсу з відображенням:

– поточного рівня освітленості;

– енергоспоживання;

– стану датчиків;

– активних режимів системи.

3.5 Розроблення бази даних системи

Для забезпечення збереження параметрів роботи адаптивної системи керування освітленням доцільним є використання бази даних. База даних призначена для накопичення інформації про параметри освітлення, режими роботи системи, показники датчиків та енергоспоживання.

Основними функціями бази даних є:

– збереження показників освітленості;

– реєстрація подій системи;

– накопичення статистичних даних;

– збереження налаштувань користувача;

– формування звітів;

– підтримка моніторингу системи.

Опис структури бази даних.

Для зберігання інформації та забезпечення роботи адаптивної системи керування освітленням розроблено реляційну базу даних, яка складається з восьми взаємопов'язаних таблиць.

Таблиця Users призначена для зберігання облікових записів користувачів системи (табл. 3.1). Містить такі поля:

– UserID – унікальний ідентифікатор користувача;

– Login – логін користувача;

– PasswordHash – пароль користувача у зашифрованому вигляді;

– FullName – повне ім'я користувача;

– Role – роль користувача в системі.

Таблиця 3.1 – Таблиця Users

Назва поля	Тип даних	Призначення
UserID	INT	Унікальний ідентифікатор користувача
Login	NVARCHAR(50)	Логін користувача
PasswordHash	NVARCHAR(255)	Хеш пароля
FullName	NVARCHAR(100)	Повне ім'я користувача
Role	NVARCHAR(30)	Роль користувача в системі

Таблиця LightingZones містить інформацію про зони освітлення виробничого приміщення (табл. 3.2):

– ZoneID – унікальний ідентифікатор зони;

– ZoneName – назва зони;

– CurrentBrightness – поточний рівень яскравості освітлення;

– MaxBrightness – максимально допустимий рівень яскравості;

– Status – поточний стан зони.

Таблиця 3.2 – Таблиця LightingZones

Назва поля	Тип даних	Призначення
ZoneID	INT	Унікальний ідентифікатор зони
ZoneName	NVARCHAR(100)	Назва зони
CurrentBrightness	INT	Поточна яскравість
MaxBrightness	INT	Максимальна яскравість
Status	NVARCHAR(30)	Стан зони

Таблиця Sensors призначена для обліку встановлених датчиків (табл. 3.3):

– SensorID – унікальний ідентифікатор датчика;

– ZoneID – ідентифікатор зони розташування;

– SensorType – тип датчика;

– Location – місце встановлення датчика.

Таблиця 3.3 – Таблиця Sensors

Назва поля	Тип даних	Призначення
SensorID	INT	Унікальний ідентифікатор датчика
ZoneID	INT	Ідентифікатор зони
SensorType	NVARCHAR(50)	Тип датчика
Location	NVARCHAR(100)	Місце встановлення

Таблиця Measurements використовується для накопичення результатів вимірювань (табл. 3.4):

– MeasurementID – унікальний ідентифікатор запису;

– SensorID – ідентифікатор датчика;

– LuxValue – значення освітленості;

– PresenceDetected – ознака присутності людини;

– RobotDetected – ознака активності роботизованої системи;

– MeasurementTime – дата та час вимірювання.

Таблиця 3.4 – Таблиця Measurements

Назва поля	Тип даних	Призначення
MeasurementID	INT	Ідентифікатор вимірювання
SensorID	INT	Ідентифікатор датчика
LuxValue	FLOAT	Рівень освітленості
PresenceDetected	BIT	Наявність людини
RobotDetected	BIT	Активність робота
MeasurementTime	DATETIME	Дата та час вимірювання

Таблиця Scenarios містить сценарії роботи системи керування освітленням (табл. 3.5):

– ScenarioID – унікальний ідентифікатор сценарію;

– ScenarioName – назва сценарію;

– HumanDetected – ознака присутності людини;

– RobotDetected – ознака роботи робота;

– BrightnessLevel – рівень яскравості освітлення;

– Description – опис сценарію.

Таблиця 3.5 – Таблиця Scenarios

Назва поля	Тип даних	Призначення
ScenarioID	INT	Ідентифікатор сценарію
ScenarioName	NVARCHAR(50)	Назва сценарію
HumanDetected	BIT	Ознака присутності людини
RobotDetected	BIT	Ознака роботи робота
BrightnessLevel	INT	Рівень яскравості
Description	NVARCHAR(255)	Опис сценарію

Таблиця SystemSettings зберігає параметри конфігурації системи (табл. 3.6):

– SettingID – унікальний ідентифікатор налаштування;

– SettingName – назва параметра;

– SettingValue – значення параметра;

– Description – опис налаштування.

Таблиця 3.6 – Таблиця SystemSettings

Назва поля	Тип даних	Призначення
SettingID	INT	Ідентифікатор налаштування
SettingName	NVARCHAR(100)	Назва параметра
SettingValue	NVARCHAR(100)	Значення параметра
Description	NVARCHAR(255)	Опис параметра

Таблиця Events призначена для ведення журналу подій (табл. 3.7):

– EventID – унікальний ідентифікатор події;

– ZoneID – ідентифікатор зони;

– EventType – тип події;

– EventDescription – опис події;

– EventTime – дата та час виникнення події.

Таблиця 3.7 – Таблиця Events

Назва поля	Тип даних	Призначення
EventID	INT	Ідентифікатор події
ZoneID	INT	Ідентифікатор зони
EventType	NVARCHAR(50)	Тип події
EventDescription	NVARCHAR(255)	Опис події
EventTime	DATETIME	Дата та час події

Таблиця AuditLog використовується для аудиту дій користувачів (табл. 3.8):

– AuditID – унікальний ідентифікатор запису;

– UserID – ідентифікатор користувача;

– Action – виконана дія;

– ActionTime – дата та час виконання дії.

Таблиця 3.8 – Таблиця AuditLog

Назва поля	Тип даних	Призначення
AuditID	INT	Ідентифікатор запису
UserID	INT	Ідентифікатор користувача
Action	NVARCHAR(255)	Виконана дія
ActionTime	DATETIME	Дата та час дії

Розроблена структура бази даних забезпечує зберігання інформації про параметри освітлення, показники датчиків, сценарії функціонування системи, налаштування, події та дії користувачів, що дозволяє реалізувати функції моніторингу, керування та адміністрування адаптивної системи освітлення.

Опис зв'язків таблиць (табл. 3.9):

– один користувач (Users) може виконувати багато дій, які фіксуються в AuditLog;

– одна зона освітлення (LightingZones) може містити багато датчиків (Sensors);

– один датчик (Sensors) може генерувати багато записів вимірювань (Measurements);

– одна зона освітлення (LightingZones) може мати багато подій (Events);

– таблиці Scenarios та SystemSettings є довідковими і використовуються програмою для прийняття рішень та налаштування алгоритмів керування.

Таблиця 3.9 – Зв’язки між таблицями бази даних

Батьківська таблиця	Дочірня таблиця	Тип зв'язку
Users	AuditLog	1:M
LightingZones	Sensors	1:M
LightingZones	Events	1:M
Sensors	Measurements	1:M

ER-діаграма бази даних відображає структуру зберігання даних адаптивної системи керування освітленням. Основним об'єктом є зона освітлення (LightingZones), з якою пов'язані датчики (Sensors), результати вимірювань (Measurements) та події системи (Events). Для підтримки функцій адміністрування використовуються таблиці Users та AuditLog. Параметри функціонування системи визначаються таблицями Scenarios і SystemSettings (рис. 3.2).

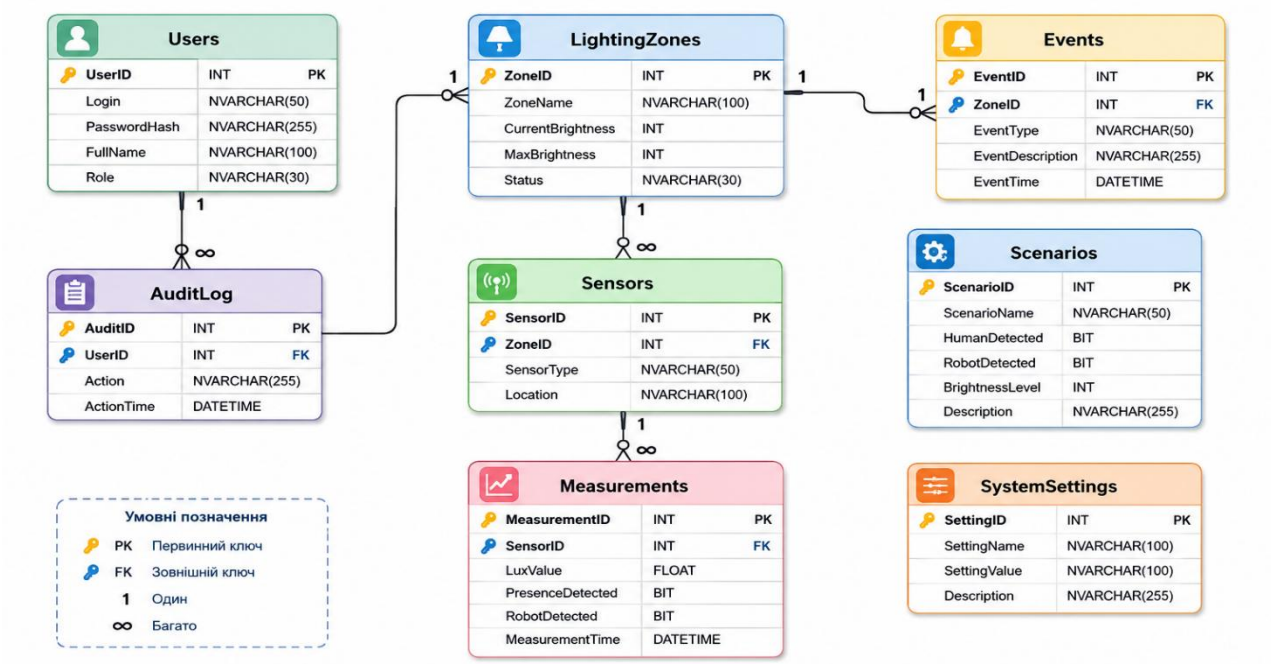


Рисунок 3.2 – ER-діаграма бази даних адаптивної системи керування освітленням

Також реалізовано логічний зв’язок між режимами роботи та користувацькими налаштуваннями, що дозволяє персоналізувати параметри системи відповідно до потреб користувача.

3. 6 Опис програмних класів системи

Клас Database.

Клас Database призначений для взаємодії програмного забезпечення з базою даних SQL Server. Основними функціями класу є встановлення з'єднання з базою даних, виконання SQL-запитів, отримання налаштувань системи, збереження результатів вимірювань, реєстрація подій та ведення журналу аудиту дій користувачів. Клас забезпечує централізований доступ до даних та ізолює інші модулі системи від особливостей роботи з СУБД.

Основні методи:

– connect() – встановлення з'єднання з базою даних;

– disconnect() – завершення з'єднання;

– loadSettings() – завантаження параметрів системи;

– saveMeasurement() – збереження результатів вимірювань;

– saveEvent() – реєстрація подій;

– saveAuditLog() – запис інформації про дії користувачів.

Клас LightingController.

Клас LightingController реалізує алгоритм адаптивного керування освітленням. На основі інформації про освітленість, присутність людини та активність роботизованого обладнання клас визначає необхідний рівень яскравості світильників відповідно до заданого сценарію роботи.

Основні методи:

– calculateBrightness() – обчислення необхідного рівня яскравості;

– applyScenario() – застосування вибраного сценарію;

– updateLighting() – оновлення параметрів освітлення;

– dimLighting() – плавна зміна яскравості.

Клас SensorService.

Клас SensorService забезпечує роботу з датчиками системи. Його функціями є зчитування даних від датчиків освітленості та присутності, перевірка коректності отриманих значень і передача інформації до модуля керування освітленням.

Основні методи:

– readLuxSensor() – отримання значення освітленості;

– readPresenceSensor() – визначення присутності людини;

– readRobotStatus() – отримання інформації про стан роботизованого обладнання;

– validateData() – перевірка достовірності даних;

– saveMeasurements() – передача результатів вимірювань до бази даних.

Клас ScenarioManager.

Клас ScenarioManager відповідає за керування сценаріями функціонування системи освітлення. Він здійснює завантаження сценаріїв із бази даних, пошук

відповідного сценарію залежно від поточного стану об'єкта керування та передачу параметрів до модуля LightingController.

Основні методи:

– loadScenarios() – завантаження сценаріїв із бази даних;

– findScenario() – пошук сценарію за умовами роботи;

– getBrightnessLevel() – отримання рівня яскравості для обраного сценарію;

– addScenario() – додавання нового сценарію;

– updateScenario() – редагування параметрів сценарію.

Спільна робота зазначених класів забезпечує збір даних від датчиків, аналіз поточного стану виробничої зони, вибір оптимального сценарію освітлення, керування світильниками та збереження інформації про роботу системи в базі даних.

Програмна реалізація вищенаведених класів відображена в додатку Б.

4 КЕРІВНИЦТВО КОРИСТУВАЧА

4.1 Структура проєкту SmartLightingSystem

Основні модулі системи – це модуль збору даних, модуль прийняття рішень, модуль керування освітленням, модуль журналювання, модуль адміністрування.

Модуль збору даних виконує наступні функції:

– отримання показів датчиків освітленості;

– отримання сигналів від датчиків руху або присутності;

– отримання інформації про стан роботизованих систем.

Модуль прийняття рішень проводить:

– аналіз поточного стану;

– визначення необхідного рівня освітленості;

– вибір сценарію роботи.

Модуль керування освітленням здійснює:

– розрахунок рівня димування;

– формування команд світильникам.

Модуль журналювання здійснює:

– запис усіх подій у БД;

– формування статистики.

Модуль адміністрування дозволяє робити:

– налаштування порогів освітленості;

– перегляд історії роботи.

Структура проєкту у Visual Studio надана на рис. 4.1.

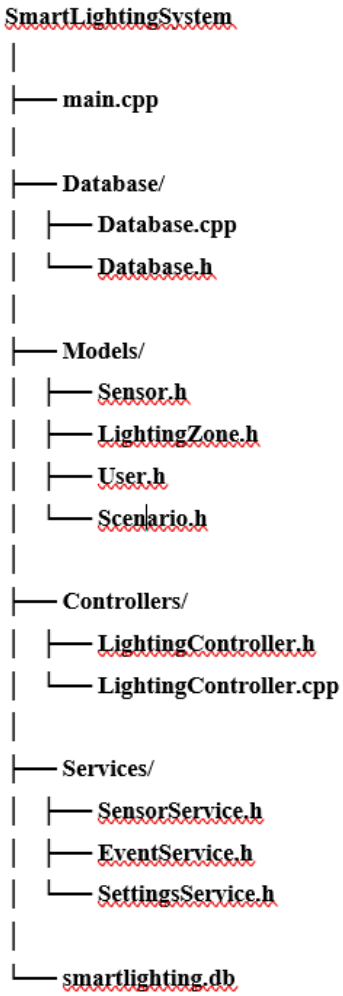


Рисунок 4.1 – Структура проєкту SmartLightingSystem

Повний скрипт створення таблиць надано в додатку А.

Після виконання команди Виконати до проєкту SmartLightingSystem додається база даних SmartLightingDB, яка складається із восьми вищеописаних таблиць (рис. 4.2).

Після створення таблиць варто додати початкові дані. В проєкті SmartLightingSystem особливо важливо заповнити таблиці Scenarios, SystemSettings, LightingZones, Users та Sensors. Таблиці Measurements, Events і AuditLog наповнюються автоматично під час роботи програми.

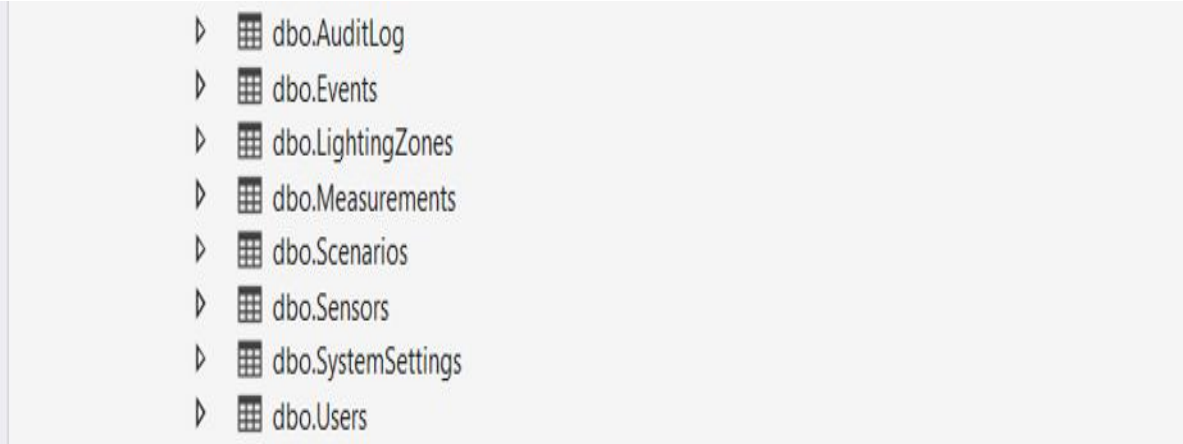


Рисунок 4.2 – Таблиці бази даних SmartLightingDB у вікні VS

Заповнення таблиць тестової бази даних.

Крипт для заповнення таблиці Users тестовими даними має наступний вигляд:

```
INSERT INTO Users (Login, PasswordHash, FullName, Role)
VALUES
('admin', 'admin123', N'Системний адміністратор', 'Administrator'),
('engineer', 'engineer123', N'Інженер з автоматизації', 'Engineer'),
('operator', 'operator123', N'Оператор виробництва', 'Operator');
```

Після виконання скрипту таблиця Users заповнюється даними на користувачів системи (рис. 4.3).

	UserID	Login	PasswordHash	FullName	Role
▶	1	admin	admin123	Системний адміністратор	Administrator
	2	engineer	engineer123	Інженер з автоматизації	Engineer
	3	operator	operator123	Оператор виробництва	Operator
*	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL

Рисунок 4.3 – Таблиця Users із заповненими тестовими даними

Скрипт для заповнення таблиці LightingZones тестовими даними має наступний вигляд:

```
INSERT INTO LightingZones
```

(ZoneName, CurrentBrightness, MaxBrightness, Status)

VALUES

(N'Складська зона', 0, 100, 'Active'),

(N'Конвеєрна лінія', 0, 100, 'Active'),

(N'Зона роботизованого комплексу', 0, 100, 'Active'),

(N'Зона технічного обслуговування', 0, 100, 'Active');

Після виконання скрипту таблиця LightingZones заповнюється даними про зони виробничих приміщень, які задіяні системою адаптивного освітлення (рис. 4.4).

	ZoneID	ZoneName	CurrentBrightness	MaxBrightness	Status
▶	1	Складська зона	0	100	Active
	2	Конвеєрна лінія	0	100	Active
	3	Зона роботизованого комплексу	0	100	Active
	4	Зона технічного обслуговування	0	100	Active
*	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL

Рисунок 4.4 – Таблиця LightingZones із заповненими тестовими даними

Наступним кроком адаптації системи до плану приміщень конкретного підприємства є опис датчиків, які є технічними компонентами системи. В тестовому прикладі ідентифікаторами зон (поле ZoneID в таблиці LightingZones) є числа 1,2,3,4.

Скрипт для заповнення таблиці Sensors, яка зберігає інформацію щодо наявних датчиків в системі має наступний вигляд:

INSERT INTO Sensors

(ZoneID, SensorType, Location)

VALUES

(1, 'LightSensor', N'Складська зона'),

(1, 'PresenceSensor', N'Складська зона'),

(2, 'LightSensor', N'Конвеєрна лінія'),

(2, 'PresenceSensor', N'Конвеєрна лінія'),

(3, 'LightSensor', N'Зона роботів'),

(3, 'RobotSensor', N'Зона роботів'),

(4, 'LightSensor', N'Зона ТО'),

(4, 'PresenceSensor', N'Зона ТО');

Після виконання скрипту таблиця Sensors заповнюється даними про типи датчиків та їх місцезнаходження в зонах, які задіяні системою адаптивного освітлення (рис. 4.5).

SensorID	ZoneID	SensorType	Location
1	1	LightSensor	Складська зона
2	1	PresenceSensor	Складська зона
3	2	LightSensor	Конвеєрна лінія
4	2	PresenceSensor	Конвеєрна лінія
5	3	LightSensor	Зона роботів
6	3	RobotSensor	Зона роботів
7	4	LightSensor	Зона ТО
8	4	PresenceSensor	Зона ТО
NULL	NULL	NULL	NULL

Рисунок 4.5 – Таблиця Sensors із заповненими тестовими даними

Це одна з основних таблиць проєкту Scenarios зберігає сценарії роботи. Для її заповнення даними використовуємо скрипт:

INSERT INTO Scenarios

(ScenarioName, HumanDetected, RobotDetected, BrightnessLevel, Description

)

VALUES

('Idle', 0, 0, 0, N'Людина та робот відсутні'

),

('RobotOnly', 0, 1, 10, N'Працює лише роботизована система'

),

('HumanOnly', 1, 0, 100, N'У зоні присутня людина'

),

('MixedMode', 1, 1, 100, N'Одночасна робота людини та робота'

);

Заповнена таблиця Scenarios (рис. 4.6) зберігає можливі сценарії та дані про їх стан (False або True) в даний момент часу.

ScenarioID	ScenarioName	HumanDetected	RobotDetected	BrightnessLevel	Description
1	Idle	False	False	0	Людина та робот відсутні
2	RobotOnly	False	True	10	Працює лише роботизована система
3	HumanOnly	True	False	100	У зоні присутня людина
4	MixedMode	True	True	100	Одночасна робота людини та робота
NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL

Рисунок 4.6 – Заповнена таблиця Scenarios

Налаштування системи, а саме заповнення таблиці SystemSettings параметрами освітлення для кожного сценарію здійснюється, наприклад, за допомогою скрипта (табл. 4.7):

```
INSERT INTO SystemSettings
(SettingName, SettingValue, Description)
VALUES
('MinBrightness', '10',
 N'Мінімальна яскравість чергового освітлення'),
('MaxBrightness', '100',
 N'Максимальна яскравість'),
('HumanLuxLevel', '500',
 N'Нормативна освітленість для людини'),
('RobotLuxLevel', '50',
 N'Освітленість для технічного зору'),
('FadeStep', '5',
 N'Крок плавного димування'),
('TimeoutMinutes', '10',
 N'Час повернення до режиму економії');
```

	SettingID	SettingName	SettingValue	Description
▶	1	MinBrightness	10	Мінімальна яскравість чергового осві...
	2	MaxBrightness	100	Максимальна яскравість
	3	HumanLuxLevel	500	Нормативна освітленість для людини
	4	RobotLuxLevel	50	Освітленість для технічного зору
	5	FadeStep	5	Крок плавного димування
	6	TimeoutMinutes	10	Час повернення до режиму економії
*	NULL	NULL	NULL	NULL

Рисунок 4.7 – Таблиця SystemSettings із заповненими величинами параметрів освітлення

Таблиця SystemSettings із заповненими величинами параметрів яскравості освітлення для різних сценаріїв, кроком плавного димування та часом повернення до режиму економії містить шість параметрів (поле SettingID). В реальному проєкті їх кількість може бути до 1000.

Для тестування працездатності створеної бази даних можна виконати декілька запитів.

Перший запит:

```
INSERT INTO Events
(ZoneID, EventType, EventDescription)
VALUES
(1, 'HumanDetected', N'У складській зоні виявлено працівника'
),
(3, 'RobotActive', N'Роботизований комплекс виконує операцію'
),
( 2, 'BrightnessChanged', N'Яскравість встановлена на 100%'
);
```

Результатом виконання вищенаведеного запиту буде заповнення таблиці Events (рис. 4.8).

EventID	ZoneID	EventType	EventDescription	EventTime
1	1	HumanDetected	У складській зоні виявлено працівника	09.06.2026 22:29:14
2	3	RobotActive	Роботизований комплекс виконує операцію	09.06.2026 22:29:14
3	2	BrightnessChanged	Яскравість встановлена на 100%	09.06.2026 22:29:14
NULL	NULL	NULL	NULL	NULL

Рисунок 4.8 – Автоматичне заповнення таблиці Events

Другий запит:

```
INSERT INTO Measurements
(
SensorID,
LuxValue,
PresenceDetected,
RobotDetected
)
VALUES
(1, 240, 0, 0),
(2, 520, 1, 0),
(5, 60, 0, 1),
(3, 480, 1, 1);
```

Після виконання запиту, описаного вище, таблиця Measurements буде заповнена відповідними даними (рис. 4.9).

MeasurementID	SensorID	LuxValue	PresenceDetec...	RobotDetected	MeasurementTime
1	1	240	False	False	09.06.2026 23:09:25
2	2	520	True	False	09.06.2026 23:09:25
3	5	60	False	True	09.06.2026 23:09:25
4	3	480	True	True	09.06.2026 23:09:25
NULL	NULL	NULL	NULL	NULL	NULL

Рисунок 4.9 – Таблиця Measurements

Після виконання цих INSERT-запитів у вас вже буде готова тестова база даних, з якою можна працювати в C++: завантажувати сценарії, читати налаштування, визначати потрібну яскравість і записувати нові події та вимірювання під час роботи системи.

4.2 Тестування проєкту

Після запуску програми на екрані з’явиться меню проєкту (рис. 4.10). Призначення пунктів меню (табл. 4.1).

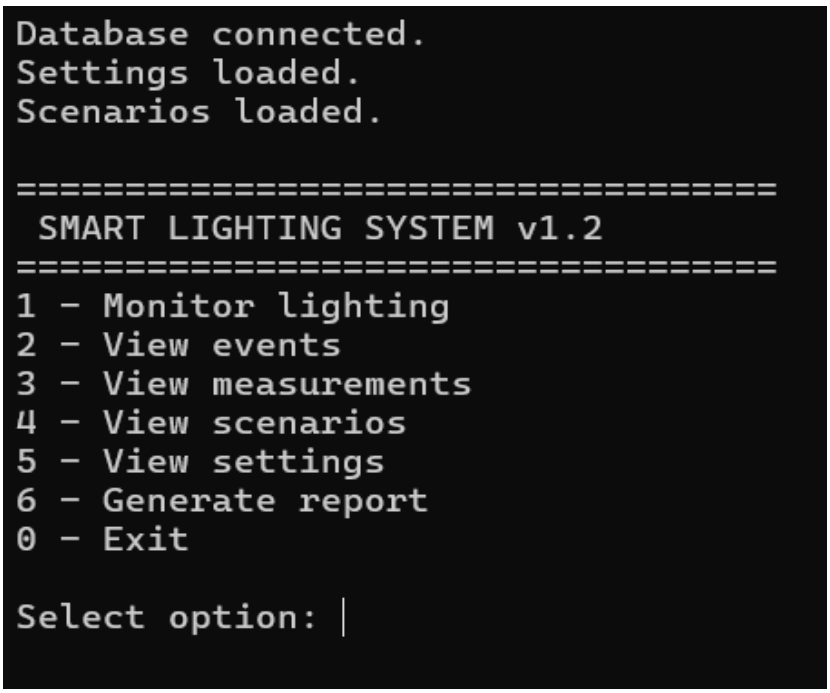


Рисунок 4.10 – Головне меню проєкту

Таблиця 4.1 – Короткий опис пунктів меню проєкту

Пункт меню	Назва	Призначення
1	2	3
1	Моніторинг освітлення	Контроль поточного стану освітлення та показників датчиків
2	Перегляд подій	Перегляд журналу системних подій
3	Перегляд вимірювань	Аналіз архівних даних вимірювань

Продовження таблиці 4.1

1	2	3
4	Перегляд сценаріїв	Перегляд алгоритмів автоматичного керування
5	Перегляд налаштувань	Контроль параметрів конфігурації системи
6	Формування звіту	Створення звітної документації
0	Вихід	Завершення роботи програми

Пункт меню 1 має назву “Моніторинг освітлення”. Даний пункт забезпечує відображення поточного стану системи освітлення. Користувач може переглядати значення освітленості, отримані від датчиків, стан світильників та інформацію про активний режим роботи системи. Функція використовується для оперативного контролю параметрів освітлення в реальному часі.

Другий пункт “Перегляд подій” призначений для доступу до журналу подій системи. У журналі фіксуються зміни режимів роботи, увімкнення та вимкнення освітлення, спрацювання датчиків руху, помилки та інші важливі системні події. Це дозволяє аналізувати роботу системи та виявляти можливі несправності.

Пункт “Перегляд вимірювань” забезпечує перегляд архіву виміряних значень освітленості та інших параметрів, що надходять від датчиків. Дані можуть використовуватися для аналізу ефективності роботи системи та оцінки умов освітлення робочих зон.

Пункт “Перегляд сценаріїв” надає можливість перегляду налаштованих сценаріїв автоматичного керування освітленням. Сценарії визначають алгоритми роботи системи залежно від часу доби, рівня природного освітлення, присутності персоналу або інших факторів.

Пункт “Перегляд налаштувань” дозволяє переглядати поточні параметри конфігурації системи, зокрема порогові значення освітленості, часові інтервали роботи, параметри датчиків та інші налаштування, що впливають на функціонування системи.

Пункт “Формування звіту” призначений для автоматичного створення звітів про роботу системи за вибраний період. До звіту можуть входити статистичні дані про рівень освітленості, споживання електроенергії, кількість спрацювань датчиків та журнал подій.

Пункт “Вихід” завершує роботу програмного забезпечення та здійснює коректне закриття всіх відкритих ресурсів системи.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1 Аналіз умов праці оператора автоматизованої системи керування освітленням

Розроблена система призначена для автоматичного керування освітленням робочих зон виробничих приміщень, у яких можуть одночасно перебувати працівники та роботизовані комплекси. Робочим місцем оператора є приміщення диспетчерської або пункту керування, обладнане персональним комп’ютером та засобами відображення інформації.

Під час роботи оператора можуть діяти такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори:

– недостатня або надмірна освітленість робочого місця;

– електромагнітні випромінювання від комп’ютерної техніки;

– підвищене навантаження на органи зору;

– тривале статичне навантаження під час роботи за комп’ютером;

– можливість ураження електричним струмом при пошкодженні ізоляції електрообладнання;

– психоемоційне навантаження, пов’язане з контролем технологічного процесу.

Відповідно до вимог чинного законодавства та нормативних документів необхідно забезпечити безпечні та комфортні умови праці оператора [21,22].

5.2 Вимоги до мікроклімату виробничого приміщення

Для забезпечення нормальних умов праці параметри мікроклімату повинні відповідати встановленим нормативним вимогам.

Оптимальними параметрами мікроклімату для приміщень з персональними електронно-обчислювальними машинами є:

– температура повітря повинна перебувати в діапазоні 22 °С – 24 °С;

– відносна вологість повітря повинна перебувати в діапазоні від 40 % до 60 %;

– швидкість руху повітря не повинна перебільшувати 0,1 м/с.

Підтримання зазначених параметрів здійснюється за допомогою систем опалення, вентиляції та кондиціонування повітря.

5.3 Вимоги до освітлення робочого місця

Раціональне освітлення є одним із найважливіших факторів забезпечення безпечної роботи оператора. Освітлення повинно відповідати вимогам чинних будівельних норм та стандартів.

Для робіт, пов’язаних із використанням персонального комп’ютера, рекомендована освітленість робочої поверхні становить від 300 лк до 500 лк.

Основними вимогами до системи освітлення є:

– забезпечення нормативного рівня освітленості;

– рівномірний розподіл світлового потоку;

– відсутність засліплення працівників;

– мінімізація пульсацій світлового потоку;

– використання енергоефективних LED-світильників.

Запропонована адаптивна система автоматично підтримує необхідний рівень освітленості залежно від присутності працівників та особливостей технологічного процесу.

5.4 Електробезпека та пожежна безпека

Система керування освітленням включає персональний комп’ютер, мережеве обладнання, датчики та світлодіодні світильники, які живляться від електричної мережі змінного струму.

Основними заходами електробезпеки є:

– використання захисного заземлення обладнання;

– застосування автоматичних вимикачів та пристроїв захисного вимкнення;

– періодичний контроль стану ізоляції;

– використання справних кабелів та розеток;

– проведення інструктажів з електробезпеки.

Електрообладнання повинно відповідати вимогам чинних нормативних документів щодо захисту від ураження електричним струмом.

До основних причин виникнення пожеж у приміщеннях із комп'ютерною технікою належать короткі замикання, перевантаження електричних мереж та несправність електрообладнання.

Для забезпечення пожежної безпеки необхідно:

– використовувати сертифіковане електрообладнання;

– не допускати перевантаження електричних мереж;

– здійснювати технічне обслуговування електрообладнання;

– забезпечити приміщення первинними засобами пожежогасіння;

– підтримувати вільними евакуаційні шляхи та виходи.

У приміщенні рекомендується встановлення порошкових або вуглекислотних вогнегасників [23].

Для підвищення рівня безпеки праці під час експлуатації адаптивної системи керування освітленням пропонується:

– впровадження автоматичного контролю параметрів освітленості;

– застосування енергоефективних LED-світильників;

– використання резервного живлення критично важливих вузлів системи;

– ведення журналу подій та діагностики обладнання;

– проведення періодичних перевірок працездатності датчиків і контролерів.

Запропоновані заходи забезпечують підвищення рівня безпеки праці, зменшення енергоспоживання та покращення умов роботи персоналу [24].

ВИСНОВКИ

В кваліфікаційній роботі проаналізована предметна область, актуальність поставленого завдання та сформульовані етапи його виконання.

Адаптивні системи освітлення є ефективним інструментом підвищення енергоефективності та якості освітлення. Їх використання дозволяє не лише зменшити витрати електроенергії, але й створити комфортні умови для користувачів. Застосування сучасних підходів, зокрема штучного інтелекту та IoT, відкриває нові можливості для розвитку інтелектуальних освітлювальних систем.

В роботі розроблено алгоритм роботи адаптивної системи освітлення, який базується на циклічній обробці даних із сенсорів. На першому етапі здійснюється збір інформації про рівень освітленості та наявність користувачів у приміщенні. Далі система аналізує отримані дані та визначає необхідний рівень штучного освітлення.

Було визначено структуру програмного забезпечення, обґрунтовано вибір середовища та засобів розробки, розроблено алгоритм функціонування системи та реалізовано основні програмні модулі.

Запропоноване програмне забезпечення забезпечує автоматичне регулювання рівня освітленості, адаптацію до умов навколишнього середовища та зниження енергоспоживання.

Результати тестування підтвердили працездатність і ефективність реалізованих алгоритмів керування освітленням.

У розділі Охорона праці виконано аналіз умов праці оператора автоматизованої системи керування освітленням.

Отримані результати можуть бути використані під час побудови інтелектуальних систем автоматизації освітлення в офісних, виробничих та навчальних приміщеннях.

Результати, викладені в кваліфікаційній роботі, опубліковані в матеріалах міжнародної науково–практичної конференції [20].

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Положення про академічну доброчесність [Електронний ресурс]: Наказ ХНУРЕ від 05 лютого 2025 р. № 44. – URL: https://nure.ua/wp-content/uploads/2025/polozhennia_z_akademichnoi_dobrochesnosti.pdf (дата звернення: 09.04.2026).

2. Стандарт вищої освіти за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» галузі знань 15 «Автоматизація та приладобудування» для другого (магістерського) рівня вищої освіти, затверджений наказом МОН України No 1022 від 10.08.2020р. «Про затвердження стандарту вищої освіти за спеціальністю 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології для другого (магістерського) рівня вищої освіти» Режим доступу: https://mon.gov.ua/static-objects/mon/sites/1/vishcha-osvita/zatverdzeni%20standarty/2020/08/10/151-avtomatizatsiya-ta-kit-magistr.pdf

3. ДСТУ 3008: 2015. Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлювання / Нац. стандарт України. – Вид. офіц. – [Чинний від 2017 – 07 – 01]. – Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2016. – 26 с.

4. Методичні вказівки з підготовки та захисту кваліфікаційної роботи здобувачами другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності 174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка, освітньо-професійних програм: «Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси і виробництва», «Комп'ютеризовані та робототехнічні системи» / Упоряд. І. Ш.Невлюдов, Р. В. Артюх, В. В. Безкоровайний, Н. П. Демська, В. В. Євсєєв, О. І. Филипенко, О. М. Цимбал. Харків: ХНУРЕ, 2024. 57 с.

5. Основи наукових досліджень : підручник / І. Ш. Невлюдов, Ю. М. Олександров, А. О. Андрусевич, О. О. Чала ; М-во освіти і науки України, Харків.нац. ун-т радіоелектроніки. – Prague : OKTAN PRINT, 2024. – 468 с. DOI https://doi.org/10.46489/ONDNP Режим доступу на ресурсі бібліотеки ХНУРЕ https://openarchive.nure.ua/handle/document/28574.

6. Невлюдов І. Ш. Техніко-економічне обґрунтування інженерних рішень в інтелектуальному виробництві : підручник / І. Ш. Невлюдов. - Кривий Ріг : Чернявський Д. О., 2024. – 388 с. : іл. Режим доступу на ресурсі бібліотеки ХНУРЕ https://openarchive.nure.ua/handle/document/27408.

7. Кафедра комп’ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки. Про нас. Офіційний сайт кафедри КІТАР ХНУРЕ. URL: https://tapr.nure.ua/golovna/pro-nas (дата звернення: 09.04.2026).

8. Технологія LoRaWAN. URL: https://deps.ua/ua/knowegable-base/reference-information/66634.html (дата звернення: 09.04.2026).

9. D. Kyslytsia, Y. Basova, S. Kyslytsia, H. Kozhushko, R. Kakharchenko Automatic lighting control systems – an effective way to save electricity and improve lighting quality// Control, Navigation and Communication Systems. Vol. 4 No. 78 (2024). https://doi.org/10.26906/SUNZ.2024.4.031.

10. RadiyLED пропонує інноваційні та надійні рішення у галузі світлодіодного освітлення для нових об'єктів та об'єктів, що модернізуються. Назва з екрану. URL: https://radiyled.com/ua/about/ (дата звернення: 22.04.2026).

11. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення [Електронний ресурс]. – URL: https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/dbn_v_2_5_28/1-1-0-1188 (дата звернення: 22.04.2026).

12. Caicedo D., Pandharipande A., Willems F. Daylight-adaptive lighting control using light sensor calibration prior-information. Energy and Buildings. 2014. Vol. 73. P. 105–114.

13. Gentile N., Dubois M.-C., Laike T. Daylight harvesting control systems design recommendations based on a literature review. Building and Environment. 2015. Vol. 92. P. 22–34.

14. Li S., Pandharipande A. Networked illumination control with distributed light-harvesting wireless sensors. IEEE Systems Journal. 2012. Vol. 8. No. 2. P. 1–10.

15. Датчики присутності Theber-HTS-технологія. URL: https://www.kvk-electro.com.ua/uk/products/trademarks/theben/docs/articles/datchiki-prisutnosti-theben-hts-tekhnologija/ (дата звернення: 22.04.2026).

16. What are the Functions of Intelligent Lighting Control Module? URL: https://www.agcled.com/blog/what-are-the-functions-of-intelligent-lighting-control-module.html (дата звернення: 12.05.2026).

17. Specifying with DALI – A Lighting Designer's Guide [Електронний ресурс] / DALI Alliance. – 2021. – URL: dali-alliance.org (дата звернення: 07.06.2026).

18. The Ultimate Guide to DALI-2 [Електронний ресурс] / uPowerTek. — 2022. – URL: upowertek.com (дата звернення: 07.06.2026).

19. Карташов В. В. Автоматизовані системи керування технологічними процесами : метод. вказівки до викон. лаб. робіт [Електронний ресурс] / В. В. Карташов ; Терноп. нац. техн. ун-т ім. І. Пулюя. – Тернопіль : ТНТУ, 2017. – 132 с. – URL: tntu.edu.ua (дата звернення: 07.06.2026).

20. Сезонова І.К., Приліпко А.В., Євтушенко В.І. Інтеграція автоматизованих систем керування виробництвом з системами цивільної безпеки. 5-а Міжнародна наукова конференція «Modern Science, Economy and Digital Innovation», 10-12 червня, 2026, Бухарест, Румунія. https://isu-conference.com/arkhiv/

21. Про охорону праці. Закон України від 14.10.1992 № 2694-XII [Електроний ресурс]/ URL: www / URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12# (дата звернення: 22.04.2026).

22. Комплекс навчально-методичного забезпечення навчальної дисципліни «Організація керування умовами праці» підготовки освітнього рівня бакалавр усіх спеціальностей та усіх напрямів університету / ХНУРЕ [Електронний ресурс] / URL: https://catalogue.nure.ua/document=218933
(дата звернення: 22.04.2026).

23. ДСТУ ISO 45001:2019. Системи управління охороною здоров’я та безпекою праці. Вимоги та настанови щодо застосування (ISO 45001:2018, IDT). [Чинний від 2021-01-01]. URL: budstandart.com (дата звернення: 10.06.2026).

24. Кодекс цивільного захисту України : Закон України від 02 жовт. 2012 р. № 5403-VI. Відомості Верховної Ради України. 2013. № 34–35. Ст. 458. URL: rada.gov.ua (дата звернення: 10.06.2026).