

Хмельницький національний університет
Факультет інформаційних технологій
Кафедра комп'ютерної інженерії та інформаційних систем

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

бакалавр
Освітній рівень

Кіберфізична система керування вуличним освітленням розумної вулиці
Назва теми

КВРКІ 22012.22.02.22 ПЗ
Шифр

Галузь знань 12 «Інформаційні технології»
Шифр, назва

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»
Шифр, назва


Освітня програма «Комп'ютерна інженерія та програмування»
Назва

Виконав студент III курсу, група KI2c-22-2


Підпис, дата

Ростислав ЗАВОДЯНИЙ
Ініціали, прізвище

Керівник


Підпис, дата


Світлана САЧЕНКО
Ініціали, прізвище

Нормоконтролер


Підпис, дата

Тетяна КИСІЛЬ
Ініціали, прізвище

До захисту допускаю
зав.кафедри комп'ютерної
інженерії та інформаційних
систем


Підпис, дата

Ольга ПАВЛОВА
Ініціали, прізвище

«12» червня 2025 р.

Хмельницький, 2025

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Кафедра КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Освітній рівень БАКАЛАВР

Галузь знань 12 ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Спеціальність 123 КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ

Освітня програма «КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ ТА ПРОГРАМУВАННЯ»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри Ольга ПАВЛОВА

“ 10 ” 01 2025 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Ростиславу ЗАВОДЯНОМУ

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема проекту (роботи) Кіберфізична система керування вуличним освітленням розумної вулиці

Керівник проекту (роботи) Світлана САЧЕНКО, к.е.н., доцент

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджена наказом ректора університету від 07.02.2025 р. № 23

2. Строк подання студентом проекту (роботи) на кафедру 02.06.2025 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Завдання на кваліфікаційну роботу

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) _____

Кіберфізична система адаптивного керування вуличним освітленням розумної вулиці та постановка задачі щодо її удосконалення.

Проектування системи обробки інформації у кіберфізичній системі керування вуличним освітленням розумної вулиці.

Програмно-апаратна реалізація кіберфізичної системи керування вуличним освітленням розумної вулиці.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень) _____

Архітектура ПЗ проекту

Архітектура ПЗ для кіберфізичної системи

Апаратне забезпечення проекту

6. Консультанти розділів дипломного проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Нормоконтроль	Тетяна КИСІЛЬ, доцент кафедри КІС		
Антиплагіат	Андрій НІЧЕПОРУК, доцент кафедри КІС		

7. Дата видачі завдання « 10 » 01 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№з/п	Назва етапів (розділів) дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Вибір напряму дослідження та узгодження тематики кваліфікаційної роботи з керівником	10.01.2025	виконано
2	Ознайомлення з предметною областю; формулювання мети та задач дослідження; визначення об'єкта та предмета дослідження	01.02.2025	виконано
3	Робота над розділом 1 – дослідження предметної області та постановка задачі	01.03.2025	виконано
4	Робота над розділом 2 – вибір компонентів для проектування системи керування вуличним освітленням розумної вулиці	01.04.2025	виконано
5	Робота над розділом 3 – проектування системи керування вуличним освітленням розумної вулиці	29.04.2025	виконано
6	Оформлення пояснювальної записки згідно вимог	25.05.2025	виконано
7	Попередній захист ВКР	26.05.2025	виконано
8	Захист ВКР на засіданні ЕК	Червень 2025 року	

Студент

Підпис

Ростислав ЗАВОДЯНИЙ
Ініціали, прізвище

Керівник роботи

Підпис

Світлана САЧЕНКО
Ініціали, прізвище

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Кіберфізична система керування вуличним освітленням розумної вулиці».

Автор роботи: Заводяний Ростислав Вікторович

Керівник роботи: Саченко Світлана Іванівна

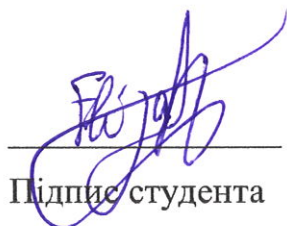
Пояснювальна записка: 60 с., 16 рис., 40 джерел.

Метою дипломної роботи є визначення умов та особливостей керування вуличним освітленням, а також оцінка механізмів обробки інформації.

Об'єктом дослідження є функціонування та керування вуличним освітленням.

Предметом дослідження є оцінка режимів застосування вуличного освітлення.

Під час проведення даного дослідження був використаний метод систематичного огляду літератури для вивчення і аналізу предметної області даного дослідження з текстових джерел інформації.







Підпис студента

30.05.2025

Дата

ЗМІСТ

ВСТУП	3
1. ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ СПОСОБІВ РОЗРОБКИ КІБЕРФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ ОСВІТЛЕННЯ ВУЛИЦІ	5
1.1 Огляд англomовних публікацій із відомими реалізаціями	5
1.2 Аналіз предметної області	7
1.3 Класифікація сенсорних технологій для системи керування вуличним освітленням	12
1.4 Висновки до першого розділу	19
2 ПРОЕКТУВАННЯ МІКРОПРОЦЕСОРНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯМ ВУЛИЧНОГО ОСВІТЛЕННЯ.....	20
2.1 Проектування структурної схеми керуванням вуличним освітленням.....	20
2.2 Вибір компонентів для реалізації мікропроцесорної системи контролю вуличним освітленням	26
2.3 Обґрунтування вибору світлодіодного драйвера.....	33
2.4 Висновки до розділу 2.....	40
РОЗДІЛ 3. АЛГОРИТМІЧНЕ ТА ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ МІКРОКЛІМАТОМ.....	41
3.1 Розробка алгоритму функціонування системи автоматичного керування освітленням	41
3.2 Розробка програмного забезпечення системи автоматичного керування освітленням	49
3.3 Висновки до третього розділу	57
ВИСНОВКИ	58
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ	59
Додаток А.....	65
Додаток Б.....	66
Додаток В.....	67

<i>КвРКІ.22012.22.02.22 ПЗ</i>				
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
Виконала		Ростислав ЗАВОДЯНИЙ		
Перевір.		Світлана САЧЕНКО		
Н.контр.		Тетяна КИСЛІБ		
Затвер.		Ольга ПАВЛОВА		
Кіберфізична система керування вуличним освітленням розумної вулиці			Літера	Аркуш
Пояснювальна записка			У	2
			ХНУ, КІ2с-22-2	

ВСТУП

Рациональне використання електроенергії у сфері зовнішнього освітлення є одним із ключових аспектів розвитку сучасних міст. Постійне зростання тарифів на електроенергію та необхідність зменшення негативного впливу на довкілля зумовлюють пошук інноваційних рішень для керування вуличним освітленням. Оптимізація роботи світильників дозволяє не лише знизити витрати, але й підвищити безпеку та комфорт міського простору.

Згідно з даними світових енергетичних агентств, освітлення міських територій є значним споживачем електроенергії. Використання новітніх технологій, таких як світлодіодні світильники та інтелектуальні системи регулювання, дає змогу зменшити енергоспоживання на 50–80%, що суттєво знижує навантаження на електромережі та зменшує обсяг викидів парникових газів.

У межах концепції "розумного міста" особливу роль відіграє автоматизоване керування вуличним освітленням. Оснащення світильників датчиками руху, модулями регулювання яскравості та системами віддаленого моніторингу дозволяє адаптувати їхню роботу до поточних умов: рівня природного освітлення, наявності пішоходів або транспорту. Такий підхід забезпечує економію ресурсів і подовжує термін служби освітлювального обладнання.

Додатковим фактором ефективності є впровадження технологій інтернету речей (IoT), які дозволяють централізовано контролювати стан світильників і оперативно реагувати на зміни в їхній роботі. Інтеграція апаратних компонентів із програмними рішеннями створює кіберфізичну систему, здатну в реальному часі аналізувати умови навколишнього середовища та коригувати параметри освітлення. Це сприяє економії електроенергії, мінімізує експлуатаційні витрати та робить міську інфраструктуру більш ефективною.

					<i>КвРКІ.22012.22.02.22 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		3

Головна мета дипломного про'єкту – створення кіберфізичної системи керування вуличним освітленням, яка здатна автоматично змінювати режими роботи світильників залежно від зовнішніх умов, таких як рівень природного освітлення, погодні фактори та інтенсивність руху.

У рамках дослідження буде проведено детальний аналіз сучасних технологій регулювання міського освітлення з метою виявлення їхніх ключових переваг і недоліків. Наступним кроком стане вивчення технічних характеристик світлодіодних світильників, які найкраще відповідають умовам експлуатації у міських середовищах. На основі зібраних даних будуть розглянуті алгоритми адаптивного керування освітленням, що використовують сенсорні вимірювання та методи машинного аналізу інформації для оперативного налаштування яскравості. Далі передбачається спроектувати архітектуру кіберфізичної системи, що дозволить інтегрувати вуличні світильники в єдину міську інфраструктуру, а також розробити алгоритми обробки вхідних даних і створити програмне забезпечення для керування освітленням у реальному часі. Особлива увага буде приділена забезпеченню взаємодії різних компонентів системи за допомогою технологій Інтернету речей (IoT) та хмарних сервісів для безперервного моніторингу та аналітики. Завершальним етапом стане тестування створеного рішення в реальних умовах, що дасть змогу оцінити його ефективність, надійність і економічні вигоди для міської громади.

Запропонований підхід до автоматизованого керування вуличним освітленням дозволить знизити споживання енергії, покращити надійність та адаптивність міської інфраструктури, а також створити комфортні умови для мешканців сучасного міста.

					<i>КвРКІ.22012.22.02.22 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

1. ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ СПОСОБІВ РОЗРОБКИ КІБЕРФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ ОСВІТЛЕННЯ ВУЛИЦІ

1.1 Огляд англomовних публікацій із відомими реалізаціями

Останніми роками концепція «розумного міста» набуває все більшої популярності. Одним із ключових елементів є інтелектуальні системи вуличного освітлення, які не лише підвищують комфорт та безпеку міського середовища, а й забезпечують суттєву економію енергоресурсів. Огляд англomовних публікацій свідчить про помітний прогрес у розробці й впровадженні таких рішень, що охоплюють різні архітектури, технології та підходи до управління.

Сучасні «розумні» системи освітлення базуються переважно на технологіях Інтернету речей (IoT), що дозволяє об'єднати окремі світлові прилади в єдину керовану мережу [1]. До ключових компонентів належать датчики руху та освітленості, шлюзи передачі даних, протоколи MQTT і CoAP, а також хмарні платформи управління [1]. Для масштабних мереж часто використовують LoRaWAN – вона забезпечує передачу на великі відстані з мінімальним енергоспоживанням і дає змогу впроваджувати ефективні алгоритми керування яскравістю [2]. Практичні реалізації, зокрема на основі мікроконтролерів STM32 і ESP32 у комбінації з LoRa, забезпечують адаптивне димування й споживання менше 1 Вт завдяки режимам глибокого сну та пробудженню за рухом, що гарантує автономну роботу до шести місяців [23, 31, 38, 40].

Розробники пропонують різні архітектурні підходи. Наприклад, автономні системи з датчиками та програмованими логічними контролерами (ПЛК) динамічно адаптують світловий потік за вбудованою логікою [3]. Інший підхід – веб-інтерфейси для моніторингу й керування групами ліхтарів через REST-API на базі Node.js – дозволяють інтегрувати IoT-пристрої навіть у традиційні системи освітлення [4]. Хмарні сервіси забезпечують централізоване управління

					<i>КвРКІ.22012.22.02.22 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

й збір телеметрії з усієї мережі [10], а системний аналіз підкреслює важливість енергоефективних методів димування [6]. Для віддалених районів пропонують гібридні архітектури з LPWAN і edge-обчисленнями [14], а масштабування бездротових сенсорних мереж (WSN) на тисячі вузлів зі самоорганізацією є ключовим завданням для великих міст [20]. Декілька робіт присвячені модульним платформам із відкритим API, що дозволяють швидко розробляти аналітичні, платіжні та аварійні застосунки, а також інтегрувати систему з ERP/SCADA [27, 34].

Кіберфізичні системи (CPS) дедалі частіше застосовують у міській інфраструктурі. Використання цифрових двійників дає змогу синхронізувати роботу світлофорів і вуличного освітлення [5, 29, 36], а також інтегрувати дані з різнорідних сенсорних мереж [8, 32, 39]. Огляд архітектур CPS виявляє бар'єри інтеграції та пропонує рекомендації з безпеки [16]. Інтеграція HVAC та освітлення з NTP і Syslog розширює функціональність платформи для централізованого моніторингу [19]. Концептуальні моделі розглядають «розумні вулиці» як соціальні CPS-платформи для взаємодії громадян з інфраструктурою – через P2P-зв'язок та краудсорсингові повідомлення про несправності [30,37].

Енергозбереження – одна з головних переваг інтелектуального освітлення. Кейс-дослідження демонструють суттєву економію завдяки змінному спектру світла [9]. Сучасні методи адаптивного керування включають PWM-димування, датчикові системи BOS і підходи на основі машинного навчання (ML) [12]. Порівняльні випробування алгоритмів адаптивного освітлення враховують транспортні потоки, погодні умови та час доби [7], а зворотний зв'язок через сенсори підвищує точність регулювання [15]. Моніторинг споживання з GSM-модемами й AI-аналіз патернів роботи оптимізують енергоефективність [17]. НМІ-інтерфейси забезпечують моніторинг у реальному часі й оперативне переналаштування режимів освітлення [18].

Зі зростанням ролі мережевих технологій питання кібербезпеки набувають особливої ваги. Аналіз загроз виявляє потенційні вектори атак і рекомендує

					<i>КвРКІ.22012.22.02.22 ПЗ</i>	Арк.
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

захист через ACL та шифрування каналів [11, 33]. Роботи підкреслюють необхідність зміцнення протоколів TLS і MQTT [26], а моделі атак на CPS, що об'єднують освітлення й управління рухом, демонструють загрози MITM на рівні сенсорів і шлюзів [28, 35].

Інтелектуальне освітлення також має соціальний вимір. Психологічні дослідження показують, що адаптивний рівень освітленості знижує страх пішоходів у нічний час при наближенні незнайомців [13]. Розробляють платформи для двосторонньої взаємодії мешканців з міською інфраструктурою через мобільні додатки, що підвищує стійкість комунікацій у цифровому місті [25].

Окремої уваги заслуговують інноваційні підходи: федеративне навчання для анонімного аналізу даних без централізованого сховища [24] і інтеграція з динамічним управлінням світлофорами для оптимізації фаз за транспортними потоками [22]. Екологічні алгоритми затемнення мінімізують світлове забруднення та захищають нічну фауну, зокрема кажанів [21].

Отже, англійські публікації демонструють багатогранність досліджень у сфері інтелектуального вуличного освітлення – від технологічних і економічних до безпекових, соціальних та екологічних аспектів. Подальший розвиток цих систем сприятиме підвищенню безпеки, комфорту й енергоефективності міст.

1.2 Аналіз предметної області

Автоматизовані системи керування вуличним освітленням є невід'ємною складовою сучасної міської інфраструктури та відіграють ключову роль у забезпеченні належного функціонування населених пунктів у темний час доби. Вони не лише дозволяють ефективно використовувати електроенергію, а й підвищують загальний рівень безпеки на вулицях і дорогах, сприяють покращенню якості життя громадян та створенню комфортного й естетично привабливого міського середовища.

					<i>КвРКІ.22012.22.02.22 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

Завдяки автоматизації таких систем вдається значно знизити експлуатаційні витрати на обслуговування освітлювального обладнання, а також своєчасно реагувати на зміни умов навколишнього середовища або аварійні ситуації.

До основних елементів зовнішнього освітлення, яке забезпечує належний рівень видимості та орієнтації у міському просторі, можна віднести кілька категорій освітлювальних систем. Освітлення магістральних доріг є першочерговим завданням для міської влади та комунальних служб, адже воно забезпечує безпеку руху як транспортних засобів, так і пішоходів у темний період доби та під час несприятливих погодних умов. Якісне дорожнє освітлення мінімізує ризики виникнення аварійних ситуацій, сприяє зниженню кількості дорожньо-транспортних пригод та створює комфортні умови для всіх учасників дорожнього руху.

Окрему увагу приділяють освітленню житлових кварталів і громадських просторів, адже саме ці зони є найближчими до людей і впливають на їхнє відчуття безпеки, зручності та затишку. Якісне освітлення дворів, тротуарів, дитячих майданчиків та зон відпочинку підвищує комфорт проживання мешканців, сприяє розвитку громадського життя та активностей у вечірній і нічний час.

Важливою складовою є також архітектурно-декоративне підсвічування, яке виконує не лише естетичну функцію, а й сприяє покращенню візуального сприйняття міста вночі. Завдяки цьому підсвічуються історичні будівлі, пам'ятники, мости, фонтани та інші елементи міської інфраструктури, що робить міський простір привабливішим для мешканців та гостей міста.

Не менш важливим є освітлення паркових зон і прибудинкових територій. Воно забезпечує людям орієнтацію у просторі, створює сприятливе середовище для прогулянок і відпочинку та значно знижує рівень злочинності завдяки покращенню видимості у вечірній і нічний час.

					<i>КвРКІ.22012.22.02.22 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

Проектування та оптимальне налаштування системи вуличного освітлення передбачає ретельний вибір типу світильників, їхньої потужності та раціонального розташування з урахуванням природного освітлення, особливостей ландшафту та потреб користувачів.

Застосування сучасних технологій, зокрема світлодіодних ламп, сенсорів руху, датчиків освітленості та інтелектуальних алгоритмів керування, дозволяє не лише значно зменшити споживання електроенергії, а й подовжити строк експлуатації обладнання. Такі системи здатні автоматично регулювати інтенсивність освітлення залежно від часу доби, погодних умов чи наявності людей або транспорту у зоні дії.

Вимоги до вуличного освітлення передбачають забезпечення високої інтенсивності світлового потоку для досягнення необхідного рівня освітленості, рівномірного розподілу світла по всій території, що освітлюється, та стійкості до впливу навколишнього середовища, включаючи вологу, пил, вібрації та температурні перепади. Це обумовлено тим, що зовнішнє освітлення працює в складних кліматичних умовах і має функціонувати надійно протягом тривалого часу без частих втручань та ремонтів. Через високу складність та вартість обслуговування систем зовнішнього освітлення особлива увага приділяється їхній надійності та енергоефективності.

Штучне освітлення за призначенням та конструктивними особливостями світильників поділяється на кілька основних категорій. У сучасних системах застосовуються різні електричні джерела світла, які відрізняються між собою за принципом роботи, ефективністю та експлуатаційними характеристиками. Класифікація таких джерел наведена на рисунку 1.1. Лампи розжарювання, які тривалий час залишалися найпоширенішим видом освітлення, працюють за принципом нагрівання металеві спіралі до високої температури, внаслідок чого випромінюється світло. Проте через високе споживання електроенергії та короткий термін служби вони поступово виходять із ужитку.

					<i>КвРКІ.22012.22.02.22 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

годин. Для порівняння, традиційні лампи розжарювання забезпечують ефективність у межах 6–13 лм/Вт, тоді як на практиці реальна віддача цих ламп сягає лише 6–10 лм/Вт, а їхній ресурс обмежений 1 000 годинами безвідмовної роботи.

Галогенні лампи кращі з точки зору світлової віддачі – від 16 до 22 лм/Вт у паспортних даних і фактичні 12–20 лм/Вт на експлуатаційному етапі – проте їхній ресурс становить близько 2 000 годин. Нарешті, компактні люмінесцентні лампи демонструють паспортні 50–70 лм/Вт, але в реальних умовах віддача знижується до 35–50 лм/Вт, і термін їхньої ефективної роботи зазвичай не перевищує 10 000 годин.

Таким чином, найвищу енергоефективність і довговічність серед розглянутих джерел забезпечують сучасні світлодіоди Cree.

На сьогодні світлодіодні технології справедливо вважаються найбільш перспективним напрямком розвитку систем вуличного освітлення завдяки своїм численним перевагам, серед яких висока ефективність, довговічність, безпечність та екологічність. Поєднання LED-ламп із сучасними системами управління, датчиками освітленості, руху та технологіями Інтернету речей (IoT) відкриває нові можливості для зниження витрат на електроенергію та автоматизації процесів керування освітленням у реальному часі, адаптуючи його до актуальних потреб міста та його мешканців. Саме такі підходи забезпечують створення безпечного, енергоефективного та комфортного міського середовища майбутнього.

1.3 Класифікація сенсорних технологій для системи керування вуличним освітленням

Світлодіодне освітлення є ключовим елементом сучасних кіберфізичних систем керування вуличним освітленням. Його класифікація може здійснюватися за різними параметрами, включаючи технологію

					<i>КвРКІ.22012.22.02.22 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

випромінювання, спектральні характеристики, конструктивні особливості та функціональне призначення. Основні ознаки, за якими класифікують світлодіодні системи освітлення, стосуються насамперед спектральних і конструктивних характеристик, а також способів інтеграції в інфраструктуру. Зокрема, за колірною температурою світлодіоди поділяють на «тепле» світло з жовтуватим відтінком, «нейтральне» – близьке до денного, і «холодне» – з синюватим відтінком; кожен із цих режимів відповідає різним завданням візуального комфорту й безпеки. За призначенням розрізняють вуличні, архітектурні, декоративні, промислові та аварійні світильники, які проектують із урахуванням умов встановлення та специфіки навколишнього середовища. Конструктивно світлодіодні прилади можуть бути вбудованими, накладними, підвісними або модульними, що дозволяє гнучко вирішувати питання монтажу й обслуговування. Нарешті, за способом керування їх ділять на автономні– які працюють за власними алгоритмами увімкнення й вимкнення– та інтегровані в мережу «розумного міста» або інші автоматизовані системи, де яскравість і час роботи регулюються в реальному часі залежно від поточного навантаження й умов.

У вуличній інфраструктурі світлодіодні світильники мають низку суттєвих переваг. По-перше, вони споживають вдвічі, а то й утричі менше електроенергії за традиційні натрієві або ртутні лампи, що дає змогу містам і громадам значно знизити витрати на електроенергію. По-друге, їхній ресурс роботи перевищує 50 000 годин без помітного зниження світлового потоку, а це означає рідкісніші витрати на заміну та технічне обслуговування. По-третє, світлодіоди не містять небезпечних речовин – ртуті чи свинцю, – тому їхнє використання та утилізація не створюють додаткового екологічного навантаження. Нарешті, вони чудово поєднуються з інтелектуальними системами керування освітленням: датчики руху, регулятори яскравості та централізовані пульти дозволяють автоматично адаптувати рівень освітленості до потреб і умов, наприклад, знижуючи світловий потік уночі або у безлюдних зонах.

					<i>КвРКІ.22012.22.02.22 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

Вбудовані та накладні світлодіодні світильники сьогодні є стандартом для оновлення вуличного освітлення. Їхня компактність і зручність монтажу на існуючих опорах або фасадах будівель дозволяють швидко вводити в експлуатацію нові ділянки або модернізувати старі. При потужності до 37 Вт такі світильники забезпечують світловий потік, еквівалентний 80–100-ватним традиційним лампам, що дозволяє зменшити споживання електроенергії майже вдвічі. За умови середньорічного режиму роботи це рішення окупається приблизно за три роки, після чого економія продовжує нарощуватися, а витрати на експлуатацію та утилізацію теж залишаються значно меншими у порівнянні з застарілими технологіями.

Важливим аспектом ефективного використання світлодіодних систем є їх охолодження. Для запобігання деградації світлодіодів сучасні світильники оснащуються алюмінієвими корпусами з високим коефіцієнтом теплопровідності. Це забезпечує стабільну роботу та продовжує термін експлуатації пристроїв.

Для підвищення ефективності світлодіодного освітлення використовуються системи автоматичного регулювання освітленості. Вони можуть включати:

- датчики руху – автоматичне вмикання світильників лише за наявності об'єктів у зоні освітлення, що дозволяє значно зменшити споживання електроенергії;
- фотодатчики – регулювання рівня освітлення залежно від природного освітлення (у сонячний день світильники працюють на мінімальній потужності, у похмурий – на повну);
- дистанційне керування – можливість централізованого керування світильниками через мережеві протоколи, інтеграцію в систему «розумного міста»;

					<i>КвРКІ.22012.22.02.22 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

– аварійне освітлення – у разі збою в електромережі освітлення може перемикатися на автономне живлення з акумуляторів із зниженим енергоспоживанням.

У комплексі з розумними системами керування світлодіодне освітлення дозволяє досягти оптимального балансу між енергоефективністю, комфортом та безпекою, що робить його ключовим елементом сучасної кіберфізичної системи управління вуличним освітленням.

При створенні систем керування вуличним освітленням важливо враховувати ключові параметри світлодіодних елементів, оскільки від них залежить ефективність та якість освітлення.

До ключових характеристик світлодіодів належить насамперед сила світла, або яскравість, яка вимірюється в канделах і вказує на інтенсивність випромінювання в конкретному напрямку. Не менш важливим параметром є світловий потік, що вимірюється в люменах і характеризує загальну кількість світла, яке випромінює світлодіод у всі боки.

Окремого визначення потребує кут розсіювання світла – величина, при якій інтенсивність освітлення падає до половини від максимальної, що дозволяє оцінити ширину зони освітлення та уникнути втрат світлового потоку за межами цільової ділянки.

Цей показник визначає інтенсивність світла в певному напрямку та вимірюється в канделах (кд). Значення сили світла розраховується як відношення загального світлового потоку до просторового кута, в якому відбувається випромінювання. Світлодіоди з вузьким кутом випромінювання мають вищу силу світла за однакового світлового потоку. Цей параметр особливо важливий для вуличних ліхтарів, де потрібно сфокусувати світло на певних ділянках дороги чи тротуару.

Світловий потік, що вимірюється у люменах (лм), характеризує загальну кількість світла, яку випромінює світлодіод у всі сторони. Чим більший цей показник – тим яскравіше працює джерело світла. В системах вуличного

освітлення важливо підбирати такі світлодіоди, щоб забезпечити достатню освітленість проїжджої частини та пішохідних зон.

Цей параметр описує ширину світлового потоку, при якому інтенсивність освітлення знижується до половини від максимальної. Світловий потік за межами цього кута зазвичай складає не більше 10% від загального, тому правильний вибір кута розсіювання дозволяє уникати втрат світла і покращує енергоефективність системи.

Світлодіодні системи освітлення вуличних об'єктів потребують спеціально організованого електроживлення, оскільки робота потужних LED-модулів вимагає стабільного струму для забезпечення довговічності та збереження заявлених характеристик.

Звичайні резистивні обмежувачі струму тут не підходять через значні енергетичні втрати та ризик перегріву, що нівелює переваги світлодіодних систем. Саме тому для живлення потужних LED-випромінювачів застосовуються спеціальні драйвери – пристрої, які забезпечують стабільне живлення світлодіодів.

Існують два принципово різні підходи до стабілізації струму в світлодіодних драйверах.

Перший полягає в лінійному регулюванні, коли надлишкову напругу перетворюють у тепло за допомогою простого транзисторного регулятора струму.

Другий – імпульсний метод, у якому за допомогою високочастотних перетворювачів напругу спочатку підвищують або знижують, а потім фільтрують, що дозволяє досягти значно вищої ефективності та мінімальних втрат енергії.

Вони застосовуються рідко через низький коефіцієнт корисної дії при великих струмах та високі втрати енергії. Для вуличних систем вони практично не використовуються.

Основний тип живлення вуличних LED-світильників. Завдяки перетворенню напруги через високочастотні імпульси дозволяють досягти ефективності 95-98%. Це особливо важливо для масштабних кіберфізичних систем, де кожен відсоток енергоефективності впливає на загальні витрати та екологічність.

Імпульсні драйвери легко адаптуються до широкого діапазону вхідних напруг, що дає можливість використовувати їх у міських умовах із нестабільним електропостачанням. Окрім того, такі драйвери часто інтегруються із системами керування світлом, що дозволяє дистанційно регулювати яскравість або вмикати освітлення за графіком чи за сигналом від сенсорів.

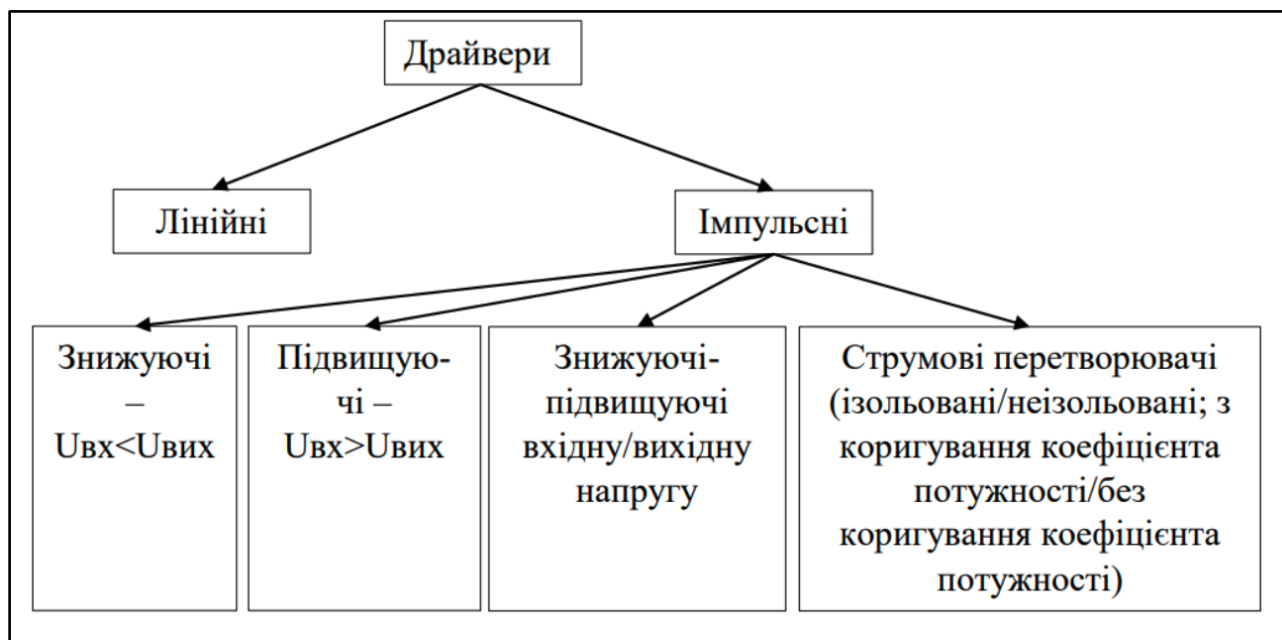


Рисунок 1.2 – Класифікація драйверів світлодіодів

Таким чином, правильний вибір та застосування драйверів є критично важливою умовою для створення надійної та енергоефективної системи вуличного світлодіодного освітлення в умовах «розумного міста».

З розвитком технологій автоматизація освітлення поступово стає стандартом для сучасних міських інфраструктур. Використання систем розумного керування дозволяє істотно знизити витрати електроенергії,

досягаючи економії в межах 30–50%. Це стало можливим завдяки впровадженню датчиків руху, сенсорів освітленості та електронних контролерів, які оптимізують роботу освітлювальних пристроїв залежно від зовнішніх умов.

Серед основних напрямів підвищення енергоефективності – перехід на економні джерела світла та оптимізація їхньої роботи в системах керування. На сьогодні на ринку представлений широкий спектр ламп, кожна з яких має свої експлуатаційні особливості та рівень енергоспоживання. Як видно з таблиці, найменш ефективними залишаються традиційні лампи розжарювання, тоді як світлодіоди демонструють найбільший ресурс роботи та прийнятний рівень світловіддачі.

Важливою умовою досягнення максимальної економії енергії є правильне розташування світильників і вибір типу освітлення – загального або локального. Поєднання центрального освітлення з точковими джерелами світла дозволяє значно зменшити енергоспоживання без втрати якості освітлення.

Окрему увагу слід приділити інтеграції сенсорних систем, які автоматично регулюють інтенсивність освітлення залежно від рівня природного світла або наявності людей у зоні покриття. Такий підхід дозволяє знизити споживання електроенергії на 40-50% без шкоди для комфорту мешканців чи безпеки дорожнього руху.

Важливо також враховувати потенціал природного освітлення та проектувати систему так, щоб у денний час використовувалась мінімальна кількість штучного світла. Подібна концепція особливо актуальна для смарт-вулиць і громадських просторів із постійною зміною освітленості.

З технічного погляду найбільшу перевагу світлодіодні технології демонструють завдяки значно нижчому енергоспоживанню порівняно з традиційними джерелами світла, що відразу ж знижує експлуатаційні витрати. Їхній довгий термін служби дозволяє рідше проводити заміну елементів, а мінімальна потреба в обслуговуванні робить їх особливо привабливими для важкодоступних або великомасштабних об'єктів. Нарешті, екологічна безпека

					<i>КвРКІ.22012.22.02.22 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

світлодіодів, які не містять токсичних речовин, забезпечує зменшення шкідливого впливу на довкілля і спрощує процес утилізації.

Світлодіодні системи не містять ртуті, як люмінесцентні лампи, мають високу механічну стійкість і забезпечують стабільну роботу в широкому діапазоні температур.

1.4 Висновки до першого розділу

У першому розділі кваліфікаційної роботи проведено детальний огляд існуючих джерел електричного освітлення та здійснено класифікацію світлодіодних систем освітлення. Розглянуто порівняльні характеристики різних типів світильників, що дозволило визначити їхні ключові особливості та сфери застосування.

Визначено основні технічні параметри світлодіодів, такі як світловий потік, сила світла та кут випромінювання, що впливають на якість та ефективність освітлення. Окремо проаналізовано особливості електроживлення світлодіодів, що потребує використання спеціалізованих драйверів для стабільної та безпечної роботи. Проведено класифікацію драйверів за принципом їхньої роботи.

Під час аналізу встановлено, що оптимальне енергозбереження досягається завдяки комбінуванню загального і локального освітлення, а також раціональному використанню природного світла. Розглянуто сильні сторони та обмеження світлодіодних джерел світла, що дозволяє зробити висновок про доцільність їхнього застосування у системах керування вуличним освітленням для «розумної» інфраструктури.

					<i>КвРКІ.22012.22.02.22 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

2 ПРОЕКТУВАННЯ МІКРОПРОЦЕСОРНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯМ ВУЛИЧНОГО ОСВІТЛЕННЯ

2.1 Проектування структурної схеми керуванням вуличним освітленням

Процес розробки та проектування структурної схеми сучасної системи вуличного освітлення є надзвичайно складним, багаторівневим та відповідальним етапом, що відіграє ключову роль у створенні високоефективної та енергоощадної кіберфізичної системи, здатної забезпечити якісне, надійне та безпечне освітлення вулиць, доріг, парків та інших елементів міської інфраструктури відповідно до чинних будівельних норм, державних стандартів і вимог до безпеки дорожнього руху. Особливу увагу на цьому етапі слід приділяти не лише технічним характеристикам світлотехнічного обладнання, а й особливостям середовища, в якому передбачається функціонування системи, що дає змогу забезпечити оптимальні умови експлуатації з урахуванням усіх зовнішніх чинників, таких як кліматичні умови, інтенсивність руху, архітектурні особливості місцевості та необхідність інтеграції з іншими міськими інженерними мережами.

Усі сучасні системи енергоефективного вуличного освітлення класифікуються на кілька основних категорій залежно від умов експлуатації, особливостей території їхнього застосування та функціонального призначення, що дозволяє інженерам та проєктувальникам максимально гнучко підходити до вибору оптимальних технічних рішень і систем керування. Зокрема, такі системи можуть бути призначені для освітлення автомобільних доріг різного рівня завантаженості, пішохідних зон, паркових алей, громадських просторів або ж промислових зон, де до рівня освітленості висуваються особливо суворі вимоги.

Це забезпечує можливість індивідуального підбору джерел світла, типу світильників, систем автоматизованого керування, а також алгоритмів роботи освітлення, які враховують не лише графік зміни доби, а й рівень природного

					<i>КвРКІ.22012.22.02.22 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

освітлення, рух транспортних засобів та пішоходів, погодні умови та інші фактори. Саме такий підхід дозволяє створити максимально ефективну, адаптивну та економічно доцільну систему, яка сприятиме підвищенню рівня безпеки на вулицях міста, зменшенню витрат на електроенергію та обслуговування, а також забезпечить комфортні умови для всіх учасників дорожнього руху та мешканців міських територій.

Першу та одну з найбільш важливих категорій складає система освітлення житлових кварталів, яка створює комфортне, безпечне та затишне середовище для проживання людей у темний час доби. Освітлення в таких районах забезпечує достатній рівень видимості для мешканців під час пересування пішки або на транспорті, сприяє зниженню ризику виникнення дорожньо-транспортних пригод та правопорушень, а також позитивно впливає на загальне сприйняття міського простору.

Особливу увагу при проектуванні таких систем приділяють рівномірному розподілу світла, мінімізації світлового забруднення та вибору світильників, які гармонійно поєднуються з архітектурним стилем забудови й забезпечують комфортні умови для життя.

Для кожного з наведених варіантів освітлення – житлових кварталів, магістральних доріг, промислових та комерційних зон, а також приватних територій – розробляється індивідуальна структурна схема кіберфізичної системи керування вуличним освітленням, яка враховує всі особливості функціонування та експлуатації у відповідних умовах. Кожна така схема повинна гарантувати досягнення чітко визначеного рівня яскравості освітлення, який забезпечить комфортні та безпечні умови перебування людей у темний час доби, відповідно до норм та стандартів освітлення для кожної конкретної території.

Важливим завданням є також забезпечення максимально раціонального споживання електроенергії, оскільки саме енергоефективність є одним із ключових критеріїв сучасних систем вуличного освітлення. Це досягається

					<i>КвРКІ.22012.22.02.22 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

завдяки застосуванню інтелектуальних систем автоматизованого керування, здатних гнучко регулювати рівень освітленості залежно від часу доби, інтенсивності руху, погодних умов чи інших зовнішніх факторів, тим самим зменшуючи загальні експлуатаційні витрати.

Окрім того, проектування таких кіберфізичних систем передбачає врахування економічної доцільності як на етапі встановлення та налагодження обладнання, так і під час подальшої експлуатації та технічного обслуговування. Мінімізація витрат досягається завдяки оптимізації інженерних рішень, використанню сучасних технологій зв'язку для централізованого моніторингу та керування, а також підбору надійного та довговічного обладнання.

Фундаментом усіх сучасних систем вуличного освітлення виступають світлодіодні світильники, які суттєво перевершують традиційні джерела світла, такі як лампи розжарювання чи натрієві лампи. Світлодіоди мають низку суттєвих переваг, серед яких слід виділити надзвичайно високу енергоефективність, що дозволяє досягати значної економії електроенергії, тривалий термін служби без потреби в частій заміні, а також можливість тонкого та точного регулювання режимів роботи залежно від поточних умов і потреб. Завдяки цим якостям LED-технології відкривають широкі можливості для реалізації адаптивного освітлення, коли інтенсивність світлового потоку може змінюватися в реальному часі, забезпечуючи оптимальний баланс між рівнем освітлення, енерговитратами та комфортом усіх учасників дорожнього руху й мешканців міста.

Сучасні світильники, що використовуються у системах вуличного освітлення, обов'язково оснащуються високотехнологічними модулями дистанційного та автоматизованого керування, що забезпечує можливість здійснювати повний контроль за їхньою роботою в режимі реального часу. Це керування реалізується як через дротові, так і бездротові канали зв'язку, що дозволяє забезпечити гнучкість у побудові мережі та значно розширює можливості для інтеграції з іншими системами міської інфраструктури. Завдяки

такій технології оператори мають змогу дистанційно контролювати роботу кожного світильника окремо або цілої групи, змінювати режими освітлення, регулювати яскравість, відстежувати стан обладнання, своєчасно виявляти та усувати несправності.

У структурі кіберфізичної системи вуличного освітлення обов'язково передбачається використання багаторівневої системи керування, до складу якої входять контролери, сервери збору, зберігання та обробки даних, а також цілий комплекс різноманітних датчиків і сенсорних пристроїв. Контролери відповідають за безпосереднє управління роботою світильників на локальному рівні, виконують команди центрального серверу та забезпечують зворотній зв'язок, передаючи інформацію про технічний стан обладнання та поточні параметри роботи. Сервери виконують функцію центру обробки даних, де відбувається аналіз отриманої інформації, формування керуючих сигналів та реалізація складних алгоритмів адаптивного освітлення.

Особливе місце у системі займають численні датчики, які дозволяють забезпечити високу ступінь автоматизації та адаптивності освітлення. Датчики освітленості фіксують рівень природного світла та коригують інтенсивність штучного освітлення відповідно до поточної ситуації. Датчики руху визначають наявність транспортних засобів або пішоходів, що дозволяє вмикати або посилювати освітлення лише у разі необхідності, знижуючи енергоспоживання у періоди відсутності активності. Додатково можуть встановлюватися датчики погодних умов, які забезпечують коригування режиму роботи світильників залежно від туману, дощу чи снігу для гарантування належного рівня безпеки на дорогах.

Усі ці елементи об'єднані у єдину інформаційно-технічну мережу, яка працює за попередньо заданими сценаріями або реагує на зміни навколишнього середовища у режимі реального часу. Завдяки цьому досягається висока ефективність системи, оптимальне енергоспоживання та можливість оперативно реагувати на будь-які зміни чи позаштатні ситуації, забезпечуючи надійну

					<i>КвРКІ.22012.22.02.22 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

роботу вуличного освітлення та підвищуючи рівень безпеки і комфорту для мешканців та гостей міста.

Особливої уваги під час проектування заслуговує побудова кіберфізичної системи керування вуличним освітленням для міських вулиць, промислових зон та великих громадських просторів, оскільки саме ці території характеризуються значною площею, високою щільністю транспортних потоків та активною присутністю людей у різні періоди доби. Як правило, для таких об'єктів використовується модульний принцип побудови системи, що забезпечує максимальну гнучкість, масштабованість та ефективність в управлінні освітлювальними приладами.

Відповідно до цього принципу уся контрольована територія умовно поділяється на окремі зони або сектори, які можуть суттєво відрізнятися між собою за характером використання, інтенсивністю транспортного та пішохідного руху, періодами найбільшої активності, тривалістю перебування людей та вимогами до рівня освітлення. Наприклад, окрема зона може включати в себе магістральну дорогу з безперервним рухом транспорту, інша – промисловий об'єкт із обмеженим доступом та визначеним робочим графіком, а ще одна – паркову територію або громадський сквер, де пік активності припадає на вечірні години.

Такий підхід дозволяє максимально точно підлаштовувати режими роботи освітлення під особливості кожної ділянки, створюючи для неї індивідуальні сценарії управління. Це, у свою чергу, гарантує досягнення необхідного рівня безпеки для водіїв і пішоходів, комфортних умов для перебування людей, а також раціональне використання електроенергії шляхом зниження яскравості або часткового вимкнення освітлення у зонах із низькою активністю у нічний час чи в інші періоди доби.

Модульна структура дає можливість оперативно змінювати налаштування освітлення залежно від поточної ситуації – наприклад, під час аварійних ситуацій, проведення ремонтних робіт або масових заходів, що робить систему

					<i>КвРКІ.22012.22.02.22 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

надзвичайно адаптивною та зручною в експлуатації. Крім того, у майбутньому можлива легка модернізація або розширення такої системи шляхом додавання нових модулів чи зон без необхідності повної реконструкції існуючої інфраструктури, що значно знижує витрати на обслуговування та оновлення освітлювальної мережі міста або промислового району.

Важливу роль у проектуванні відіграють нормативні документи, зокрема «ДБН В.2.5-28:2018» та «ДСТУ EN 12464-1:2016», які визначають мінімальні стандарти освітленості для різних типів територій, вимоги до безпеки руху та рівня комфорту людей у відкритих просторах. Дотримання цих норм гарантує ефективність та безпечність експлуатації системи у реальних умовах.

Загальна структурна схема системи вуличного освітлення передбачає поділ території на три основні зони, кожна з яких має свої особливості функціонування та вимоги до організації освітлення.

Перша зона – це основна зона з постійним рухом транспорту та пішоходів, до якої відносяться вулиці, перехрестя, магістралі та центральні частини міста. У цій зоні забезпечується стабільна робота освітлення в темний час доби із можливістю регулювання яскравості залежно від інтенсивності руху та погодних умов.

Друга зона охоплює території з епізодичним перебуванням людей – пішохідні доріжки, паркувальні майданчики, сквери та майданчики для відпочинку. Тут система освітлення працює в економному режимі, активуючись за допомогою датчиків руху тільки тоді, коли в зоні з'являються люди або транспортні засоби.

Третя зона – це зовнішня зона контролю території, яка включає прилеглі території, заїзди, двори та інші ділянки, що потребують періодичного освітлення. У цій зоні підсвічування активується за сигналом від сутінкового датчика або системи моніторингу руху, забезпечуючи необхідний рівень видимості тільки тоді, коли це справді потрібно.

					<i>КвРКІ.22012.22.02.22 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

Особливо на навантажених ділянках передбачається застосування зонального керування освітленням із можливістю поділу всієї системи на окремі секції. Це дозволяє більш точно регулювати параметри роботи освітлення на кожній конкретній ділянці та забезпечувати максимальну енергоефективність. Додатково, завдяки встановленим датчикам освітленості, система постійно контролює рівень природного світла й автоматично знижує яскравість ліхтарів у разі його достатньої кількості, що дозволяє ще більше скоротити споживання електроенергії.

Таким чином, проєктована система вуличного освітлення забезпечує не лише ефективне виконання своїх основних функцій – створення комфортного та безпечного середовища у темний час доби, а й дозволяє максимально адаптуватися до реальних умов навколишнього середовища. Завдяки застосуванню сучасних технологій та інтелектуальних алгоритмів управління така система стає невід’ємною частиною концепції розумного міста, сприяючи підвищенню рівня енергоефективності, зниженню витрат на обслуговування та покращенню якості життя населення.

2.2 Вибір компонентів для реалізації мікропроцесорної системи контролю вуличним освітленням

При проєктуванні кіберфізичної системи керування вуличним освітленням важливим етапом є вибір оптимальних елементів, які забезпечать ефективну роботу всієї системи та відповідатимуть технічним і економічним вимогам.

Для реалізації освітлення основної проїжджої частини обрано світлодіодні ліхтарі, розміщені у декілька лінійних секцій вздовж дороги. Кожна секція складається з п’яти світильників, об’єднаних у групу.

Центральний ліхтар кожної групи виконує функцію головного елемента керування та під’єднується до контролера, який отримує сигнали від датчиків освітленості та руху. Головний світильник передає команду на включення чи

					<i>КвРКІ.22012.22.02.22 ПЗ</i>	Арк.
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

виключення ведених ліхтарів секції через керуючу лінію живлення. Така схема дозволяє мінімізувати кількість мікропроцесорних модулів у кожному окремому ліхтарі, що значно знижує витрати на обладнання та спрощує обслуговування системи.

Головний елемент керується з урахуванням показників природного освітлення та дорожньої активності.

Для освітлення тротуарних зон та пішохідних переходів використовується вуличний світильник Skyflow-E1 ECO, e160015, яка відзначається високими показниками енергоефективності та забезпечує комфортне біле світло для якісного огляду у темний час доби (рис. 2.1).



Рисунок 2.1 – Зовнішній вигляд вуличного світильника Skyflow-E1 ECO, e160015

Наведена модель вуличного світильника побудована на основі світлодіодного джерсела холодного білого світла з колірною температурою 6400

К, що забезпечує чітке й яскраве освітлення в умовах мінімальної видимості вночі.

При потужності 50 Вт цей світильник видає загальний світловий потік близько 5000 лм, що дозволяє охопити достатньо велику площу при мінімальному енергоспоживанні.

Живлення здійснюється від стандартної побутової мережі змінного струму 220 В, що робить установку приладу простою та універсальною для будь-яких вуличних чи промислових об'єктів.

Завдяки корпусу з класом захисту IP65 світильник ефективно протистоїть проникненню пилу та струменів води з будь-якого напрямку, що гарантує надійну й безперебійну роботу навіть за несприятливих погодних умов або в умовах підвищеної вологості.

Дані світильники забезпечують рівномірне освітлення тротуарів та зон постійного перебування пішоходів, що є важливим чинником для безпеки громадян. Низький рівень сліпучості ($UGR < 19$) дозволяє уникнути дискомфорту для людей, що рухаються повз світильники.

Для підсвічування допоміжних зон – парковок, скверів, майданчиків короткочасного перебування – застосовано ті ж світлодіодні панелі у кількості, достатній для досягнення базового рівня освітленості без перевитрати електроенергії.

Основні пішохідні та дорожні зони освітлюються також за допомогою LED-прожекторів A.GLO GL-11-50 50W 6400K, що мають високий ступінь захисту та забезпечують яскраве направлене світло. Для ефективного охоплення території встановлено по два прожектори з обох боків основного входу чи контрольованої зони (рис. 2.2).

Модель світлодіодного прожектора A.GLO GL-11-50 50W спроектована з потужністю 50 Вт і здатна працювати від широкого діапазону вхідної напруги 175–265 В, що робить її сумісною з більшістю електричних мереж.

					<i>КвРКІ.22012.22.02.22 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28



Рисунок 2.2 – Зовнішній вигляд світлодіодного прожектора A.GLO GL-11-50
50W 6400K

Ресурс роботи світлодіодів у корпусі складає близько 30 000 годин, що забезпечує тривалий термін експлуатації без необхідності частого технічного обслуговування чи заміни.

Прилади коректно функціонують у температурному діапазоні від $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$, витримуючи різкі погодні коливання.

Широкий кут розсіювання світла 120° забезпечує рівномірне освітлення великих площ без затемнень, тоді як захист класу IP65 гарантує надійний бар'єр від пилу та струменів води, що дозволяє встановлювати світильники на вулиці або в приміщеннях з високою вологістю.

Прожектори розраховані на роботу у складних погодних умовах та забезпечують стійкість до пилу і вологи, що дозволяє ефективно їх експлуатувати у зовнішньому середовищі.

					<i>КвРКІ.22012.22.02.22 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

ефективно здійснювати живлення світлодіодного навантаження струмом до одного ампера, використовуючи мінімальну кількість зовнішніх з'єднань. Даний драйвер використовує технологію широтно-імпульсної модуляції з гістерезисом, що дозволяє досягати коефіцієнта корисної дії до дев'яносто шести відсотків, що забезпечує високий рівень енергоефективності та мінімальні втрати електроенергії під час експлуатації.

Регулювання вихідного струму у драйвері реалізовано шляхом підбору зовнішнього резистора, а також можливістю плавного регулювання струму за допомогою зміни робочого циклу сигналу широтно-імпульсної модуляції, який подається на вхід диммера, що дозволяє забезпечити гнучке налаштування системи освітлення залежно від умов експлуатації.

Драйвер має вбудовану схему плавного включення, яка забезпечує відсутність стрибків пускового струму при ввімкненні живлення, а також містить захисну схему відключення у разі падіння вхідної напруги нижче мінімально допустимого рівня, що запобігає виходу з ладу як самого драйвера, так і підключених до нього світлодіодів.

Крім того, передбачено захист від перегріву з функцією теплового відключення, а також контроль наявності розриву або короткого замикання у ланцюзі світлодіодного навантаження, що забезпечує безпеку та надійність роботи всієї системи.

Конструктивно мікросхема MBI6651 спроектована з урахуванням потреб сучасних потужних джерел живлення, де особливо важливим є забезпечення оптимального теплового режиму під час тривалої та інтенсивної експлуатації. Її технічна реалізація передбачає використання трьох різних типів корпусів – TO-252-5L, SOT-23-6L та IUCN-8L, що дає можливість розробникам обирати найоптимальніший варіант конструктивного виконання залежно від конкретних умов застосування, обмежень простору на платі або ж вимог до тепловідведення.

					<i>КвРКІ.22012.22.02.22 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

Така різноманітність корпусних рішень дозволяє ефективно інтегрувати мікросхему у широкий спектр електронних пристроїв та систем, забезпечуючи зручність монтажу та подальшого обслуговування.

2.3 Обґрунтування вибору світлодіодного драйвера

Області практичного застосування цього драйвера надзвичайно широкі, що обумовлено його технічними характеристиками та функціональними можливостями. Він широко використовується у системах живлення автомобільних світлодіодних фар та підсвіток, де до обладнання висуваються підвищені вимоги щодо стабільності роботи та витривалості до важких експлуатаційних умов.

Драйвер МВІ6651 здатен забезпечити вихідний стабілізований струм до 1 ампера, що дозволяє використовувати його для живлення як одиничних потужних світлодіодів, так і цілих масивів світлодіодних елементів. При цьому мікросхема має вбудовану систему комплексного захисту як самої мікросхеми, так і підключеного світлодіодного навантаження, що гарантує безпечну експлуатацію навіть у випадку перевантажень чи виникнення аварійних ситуацій.

Особливої уваги заслуговує висока енергоефективність драйвера – на рівні 96% при вихідному струмі 350 мА та вхідній напрузі 12 В, що дозволяє значно знизити енергоспоживання системи в цілому та забезпечити стабільну роботу без надмірних теплових втрат.

Саме тому МВІ6651 є оптимальним вибором для побудови ефективних, надійних та економічних систем автоматичного керування світлодіодним освітленням, які можуть успішно застосовуватись як у побутовій, так і в промисловій сфері. Функціональна блок-схема драйвера наведена на рисунку 2.6, де детально представлено основні вузли та принципи його роботи, що

Обґрунтування вибору контролера базується на доцільності використання програмованого логічного модуля серії LOGO! від компанії Siemens, яка представлена широким спектром моделей і додаткових розширювальних блоків, що дозволяють адаптувати систему під конкретні завдання автоматизації та управління вуличним освітленням розумної вулиці.

Серія LOGO! включає базові контролери LOGO! Basic, які є центральним елементом побудови автоматизованої системи, полегшуючи процес створення алгоритмів керування завдяки зручному функціоналу та розширеній бібліотеці вбудованих функцій.

Окрім базових модулів, до складу серії входять модулі LOGO! Pure, які призначені для виконання простіших завдань, комунікаційні модулі для забезпечення зв'язку між пристроями та центральною системою керування, а також спеціальні модулі LOGO! Contact, які забезпечують безшумну комутацію трифазних електричних ланцюгів змінного струму, що є актуальним у випадках живлення потужних світильників або додаткового обладнання на вулицях. Для живлення всієї системи передбачено використання модулів LOGO! Power, що дозволяє забезпечити стабільну подачу напруги навіть при нестабільних умовах у мережі живлення.

При необхідності підключення аналогових датчиків, таких як давачі освітлення чи фоторезистори, використовуються модулі AM2 з двома аналоговими входами або AM AQ з двома аналоговими виходами, які розширюють функціонал контролера і дозволяють працювати з аналоговими сигналами.

Для підключення дискретних виконавчих механізмів та сенсорів доступні модулі DM8 з чотирма входами і чотирма виходами або DM16 з вісьмома входами та вісьмома виходами відповідно. Центральною складовою системи обрано базовий модуль LOGO! Basic, зображення якого представлено на рисунку 2.8.

					<i>КвРКІ.22012.22.02.22 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

Можливість розширення інтерфейсу дозволяє збільшити кількість аналогових входів до восьми, дискретних входів до двадцяти чотирьох, аналогових виходів до двох та дискретних виходів до шістнадцяти, що дозволяє адаптувати систему до будь-якого рівня складності проекту.

Контролер легко підключається до персонального комп'ютера за допомогою кабелю для програмування або модуля пам'яті для збереження і перенесення програми між пристроями.

Окрім цього, контролер підтримує підключення текстового дисплея TD LOGO! або аналогового модему, що дає можливість забезпечити віддалений контроль та моніторинг стану системи. Сукупність усіх вищезазначених характеристик та технічних можливостей робить базовий модуль LOGO! Basic оптимальним вибором для реалізації автоматизованої системи керування вуличним освітленням розумної вулиці.

У складі програмованих логічних модулів серії Siemens LOGO! Basic передбачено наявність вбудованого рідкокристалічного дисплея та зручної клавіатури для локальної взаємодії з пристроєм. Дисплей дозволяє виводити текстову та цифрову інформацію у форматі до чотирьох рядків по дванадцять символів кожен, що забезпечує достатню інформативність як під час етапу налаштування та тестування, так і під час експлуатації системи в реальних умовах.

Завдяки такому функціоналу дисплей використовується для оперативного моніторингу стану кіберфізичної системи освітлення, перегляду поточних значень сенсорів, встановлення параметрів таймерів, а також для візуалізації діагностичних повідомлень у разі виникнення помилок чи аварійних ситуацій.

Це дозволяє оператору або технічному персоналу швидко реагувати на зміни та виконувати базові налаштування без необхідності підключення зовнішнього програмного забезпечення.

У розробленій кіберфізичній системі керування вуличним освітленням доцільно застосувати контролер Siemens LOGO! 230RC, який забезпечує широкі

функціональні можливості завдяки вбудованим «готовим до використання» функціям. Зокрема, контролер містить тижневі та річні таймери, астрономічний таймер для керування освітленням залежно від часу сходу і заходу сонця, генератор імпульсів, лічильники та функції затримки ввімкнення/вимкнення.

Такі інструменти значно спрощують процес розробки алгоритмів керування освітленням і дозволяють адаптувати роботу системи до різних режимів доби та пори року.

Важливою особливістю цього контролера є те, що на відміну від стандартних ПЛК, де подібні функції необхідно реалізовувати шляхом програмування, в Siemens LOGO! 230RC вони вже вбудовані та доступні для використання без додаткових витрат часу на розробку.

З метою розширення можливостей системи та забезпечення обробки більшої кількості аналогових сигналів (наприклад, від фотодатчиків чи сенсорів температури) передбачено використання модуля розширення аналогових входів AM2, який забезпечує підключення двох додаткових аналогових каналів. Це особливо актуально для кіберфізичної системи вуличного освітлення, яка повинна враховувати показники навколишнього середовища для адаптивного регулювання інтенсивності світла.

Для збільшення кількості дискретних виходів, необхідних для керування різними групами світильників або іншими виконавчими механізмами системи, застосовується модуль DM2, що додає чотири додаткових виходи.

Це дозволяє масштабувати систему та забезпечити гнучке управління освітленням у різних зонах міста або на окремих ділянках вуличної мережі.

Усі додаткові модулі з'єднуються з базовим контролером через внутрішню системну шину, що забезпечує надійну передачу даних і команд, а також дозволяє організувати централізоване управління всією кіберфізичною системою освітлення. Завдяки вбудованому механізму адресації модуль DM2 може бути підключений послідовно кілька разів без конфліктів на шині. Крім того, кожен вихід модуля обладнано індивідуальною схемою захисту від

короткого замикання та перевантаження, що підвищує безпеку та надійність роботи всієї системи.

Така модульна структура робить систему гнучкою, легко масштабованою та зручною для подальшої модернізації.

2.4 Висновки до розділу 2

У другому розділі дипломної роботи було детально розглянуто процес проектування кіберфізичної системи автоматизованого керування вуличним освітленням із урахуванням особливостей функціонування сучасного міського середовища та необхідності забезпечення максимальної енергоефективності й надійності системи.

У межах цього етапу розробки створено структурну схему вуличного освітлення, де враховано зонування території відповідно до характеру використання освітлення, зокрема виділено ділянки постійного перебування пішоходів та транспорту, зони короткочасної присутності людей і техніки, а також простори, які потребують зовнішнього освітлення для забезпечення загальної безпеки та комфортного сприйняття навколишнього середовища у темний час доби.

Здійснено обґрунтований вибір усіх ключових компонентів кіберфізичної системи, серед яких визначено оптимальні моделі світлодіодних світильників та прожекторів для ефективного та якісного освітлення різних зон, підбрано чутливі датчики освітленості для моніторингу природного світла і регулювання роботи системи відповідно до поточних умов, обрано драйвер живлення, здатний забезпечити стабільний струм для світлодіодного навантаження з високим рівнем енергоефективності, а також визначено програмований логічний контролер, який виконує функції центрального керуючого елемента всієї системи та забезпечує реалізацію складних алгоритмів роботи в автоматичному режимі.

					<i>КвРКІ.22012.22.02.22 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

РОЗДІЛ 3. АЛГОРИТМІЧНЕ ТА ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ МІКРОКЛІМАТОМ

3.1 Розробка алгоритму функціонування системи автоматичного керування освітленням

Розробка алгоритмічного та програмного забезпечення кіберфізичної системи керування вуличним освітленням є надзвичайно відповідальним та складним процесом, що потребує глибокого аналізу всіх можливих сценаріїв роботи освітлювальної мережі та врахування численних зовнішніх і внутрішніх факторів, які впливають на її функціонування. У основі створення такого програмного комплексу лежить побудова чіткої, логічно вивіреної послідовності дій та умовних переходів, яка дозволяє системі в автоматичному режимі змінювати режими роботи світильників відповідно до постійно змінних умов зовнішнього середовища, заданих користувачем параметрів та встановлених алгоритмів.

Уся логіка функціонування кіберфізичної системи спрямована передусім на досягнення максимальної енергоефективності та раціональне використання наявних енергоресурсів, що є одним із головних завдань сучасних систем освітлення у міському середовищі.

Автоматичне регулювання яскравості освітлення залежно від рівня природного освітлення, часу доби, інтенсивності руху транспортних засобів чи пішоходів дозволяє значно зменшити споживання електроенергії без шкоди для рівня безпеки та комфорту мешканців.

При цьому програмне забезпечення забезпечує постійний аналіз отриманих від датчиків даних та прийняття оптимальних рішень у режимі реального часу. Наприклад, за умов зниження рівня природного освітлення чи підвищення інтенсивності руху система автоматично активує відповідні світлотехнічні елементи або збільшує яскравість освітлення, тоді як у періоди

					<i>КвРКІ.22012.22.02.22 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

залежать від часу доби, наявності людей, проведення масових заходів або ж сезонних особливостей використання простору.

Саме завдяки такій класифікації вдається досягти оптимального поєднання енергоефективності та комфорту, гарантуючи достатній рівень освітленості там, де це дійсно необхідно, і мінімізуючи витрати електроенергії у малозавантажених чи тимчасово неактивних зонах. Загалом поділ території на функціональні зони дозволяє забезпечити індивідуальний підхід до керування освітленням кожної ділянки міського простору, реалізувати ефективні алгоритми адаптивного регулювання світлового потоку та створити сучасну, енергоощадну й безпечну систему вуличного освітлення.

Алгоритм функціонування системи розроблений таким чином, щоб забезпечити максимально ефективну та раціональну роботу освітлювальної мережі з урахуванням особливостей кожної функціональної зони міського простору.

Особлива увага в алгоритмі приділяється основним магістралям, де через високу інтенсивність руху транспорту та важливість забезпечення безпеки передбачено стабільне ввімкнення освітлення у темний період доби незалежно від зовнішніх факторів.

При цьому рівень яскравості світильників на таких ділянках постійно регулюється залежно від поточного рівня природного освітлення та погодних умов. Це означає, що система автоматично зменшує інтенсивність світлового потоку під час світанку чи в сутінках, коли природне світло ще присутнє, або ж навпаки – підвищує його в умовах погіршення видимості через дощ, туман чи сніг, забезпечуючи необхідний рівень безпеки дорожнього руху.

Щодо тротуарних зон і пішохідних доріжок, де характер руху є менш інтенсивним та носить переважно епізодичний характер, алгоритм передбачає значно гнучкіший підхід до керування освітленням. У таких зонах освітлення активується не постійно, а лише у разі виявлення факту присутності людини або транспортного засобу в зоні покриття системи. Для цього передбачено

					<i>КвРКІ.22012.22.02.22 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

використання цілої групи сучасних датчиків руху та присутності, здатних оперативно реагувати на появу об'єктів у контрольованій зоні. Як тільки датчики фіксують рух – система миттєво подає сигнал на вмикання світильників, забезпечуючи комфортне та безпечне пересування пішоходів або проїзд транспорту. Після зникнення активності у визначеній зоні освітлення автоматично вимикається або знижується до мінімального рівня, що дозволяє значно знизити витрати електроенергії та продовжити термін служби обладнання.

Застосування саме такого підходу до побудови алгоритму функціонування кіберфізичної системи керування вуличним освітленням забезпечує досягнення оптимального балансу між необхідністю створення належних умов видимості для забезпечення безпеки та комфорту мешканців і гостей міста та одночасною реалізацією принципів енергоощадності, що є особливо актуальним у сучасних умовах розвитку урбаністичних територій.

Завдяки гнучкому регулюванню режимів роботи світлотехнічного обладнання залежно від реальних потреб та зовнішніх умов система здатна автоматично змінювати рівень освітлення, вмикати або вимикати окремі ділянки освітлення, що дозволяє значно скоротити обсяги споживаної електроенергії без втрати якості освітлення та негативного впливу на безпеку дорожнього руху та пішоходів. Увімкнене освітлення функціонує до світанку, після чого система переходить у стан очікування до наступного циклу активації.

Однак протягом усього часу активної роботи контролер не обмежується лише виконанням команди вмикання або вимикання світильників, а й виконує функцію постійного моніторингу зовнішнього середовища шляхом циклічної перевірки інформації, яку надсилають датчики освітленості та руху, інтегровані у систему.

Контролер аналізує отримані дані та приймає рішення щодо необхідності зміни режиму роботи освітлювальних приладів. Залежно від поточних показників, система може автоматично регулювати рівень інтенсивності

					<i>КвРКІ.22012.22.02.22 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

світлового потоку – знижувати його у разі достатнього природного освітлення або низької активності на ділянці, або навпаки, збільшувати яскравість у періоди підвищеної інтенсивності руху чи погіршення видимості. У разі виявлення повної відсутності руху у визначеній зоні освітлення може бути повністю відключене для досягнення додаткової економії електроенергії.

У разі, коли фотодатчики фіксують надлишковий рівень природного освітлення – наприклад, у денний час або під час короткотривалого підвищення яскравості навколишнього середовища через метеорологічні умови – контролер автоматично повертається у початковий стан та переходить у режим очікування.

Це означає, що вся система або окремі її секції не витрачають зайвих енергоресурсів на роботу в умовах, коли природне освітлення є достатнім для забезпечення нормальної видимості та безпеки. Таким чином досягається суттєве зниження рівня енергоспоживання та збільшується загальний ресурс роботи обладнання.

Водночас, коли рівень природного освітлення знижується до критичних значень – наприклад, із настанням сутінок, у похмуру погоду чи під час несприятливих погодних умов – фотодатчики передають відповідний сигнал на контролер. У відповідь система активує певну кількість світлодіодних світильників, керуючись заздалегідь закладеними сценаріями та алгоритмами роботи, які враховують не лише поточний рівень освітленості, а й інтенсивність руху на кожній конкретній ділянці. Це дозволяє забезпечити необхідний рівень яскравості освітлення саме там і тоді, де це потрібно для створення комфортних і безпечних умов перебування людей та руху транспорту.

Такий механізм дії фотодатчиків і контролера дозволяє системі максимально гнучко та оперативно реагувати на будь-які зміни умов навколишнього середовища, забезпечуючи не лише енергоефективність, а й високу адаптивність та надійність вуличного освітлення в умовах сучасного міського середовища. У випадках різкої зміни умов зовнішнього середовища, таких як раптове погіршення погодних умов, густий туман, зливи або інші

природні явища, що суттєво знижують видимість, а також у разі виникнення аварійних або надзвичайних ситуацій, алгоритм функціонування кіберфізичної системи автоматичного керування вуличним освітленням передбачає спеціальний режим роботи – режим екстреного освітлення.

Цей режим є важливою складовою алгоритмічного забезпечення, оскільки дозволяє системі миттєво реагувати на небезпечні зміни та забезпечувати максимальний рівень безпеки для всіх учасників дорожнього руху та пішоходів. Зокрема, у разі надходження сигналу про аварійну ситуацію або різке погіршення видимості, контролер негайно переводить систему в аварійний режим, активуючи усі доступні освітлювальні прилади на максимальну потужність.

Це дозволяє оперативно забезпечити необхідний рівень освітлення на всіх ділянках дороги, пішохідних переходах, магістралях і допоміжних територіях, мінімізуючи ризик виникнення додаткових небезпечних ситуацій та аварій. Система також інтегрує датчики інтенсивності транспортного потоку, щоб адаптувати яскравість освітлення відповідно до завантаження дороги в реальному часі. Структурна схема алгоритму функціонування системи керування вуличним освітленням представлена на рисунку 3.1.

В разі виявлення несправності окремого вузла освітлення контролер автоматично перенаправляє керування на резервні канали, забезпечуючи безперервність роботи мережі. У розробленій кіберфізичній системі керування вуличним освітленням особливу увагу приділено алгоритмічному забезпеченню роботи підсистем, відповідальних за освітлення ділянок з короткотривалим перебуванням людей, зокрема другорядних вулиць, пішохідних переходів, скверів та паркувальних майданчиків, де перебування пішоходів чи транспортних засобів є епізодичним і нерегулярним, що потребує оптимізації споживання електроенергії та забезпечення надійного контролю над роботою освітлювальних приладів залежно від поточної ситуації.

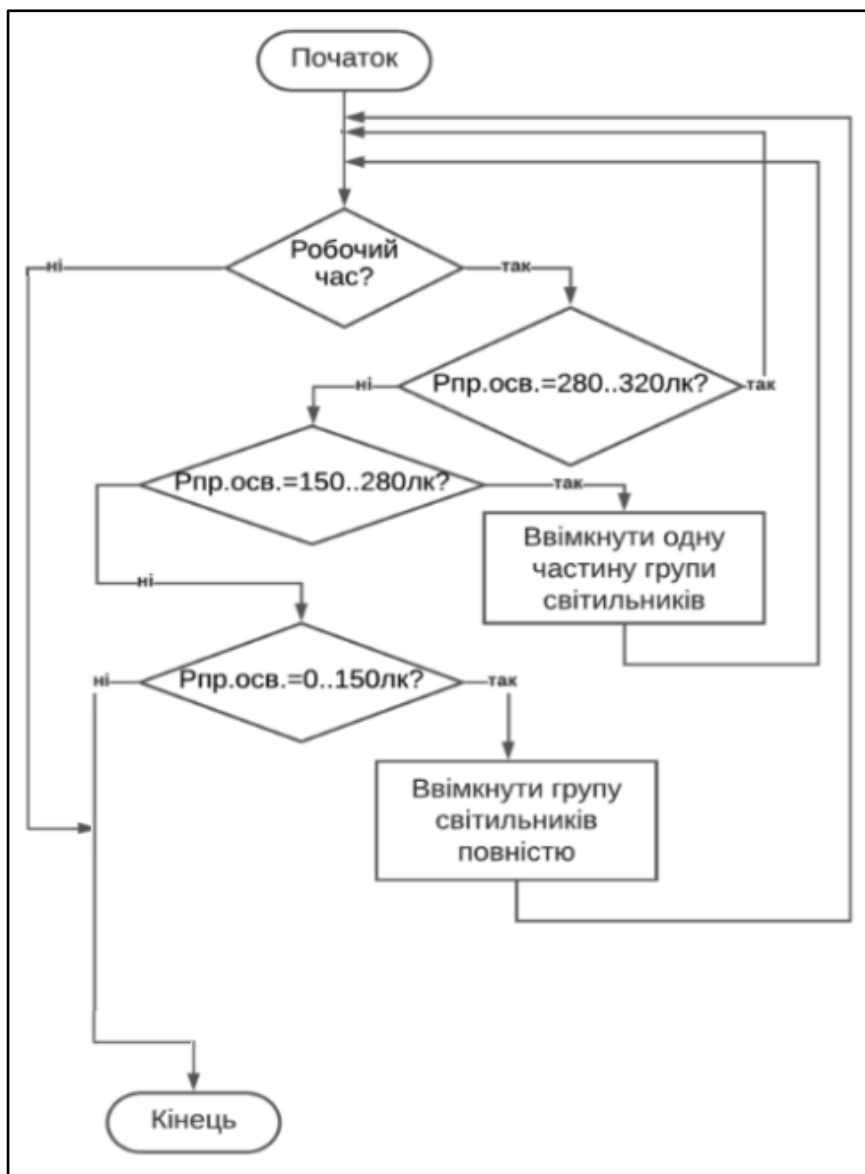


Рисунок 3.1 – Алгоритм роботи системи автоматичного керування освітленням

У денний період або за умов достатнього природного освітлення система перебуває у режимі очікування, фіксує сигнали виключно для подальшого аналізу, тоді як з настанням сутінок або при погіршенні погодних умов вмикається активна перевірка присутності людей або транспортних засобів у контрольованих зонах, за результатами якої формується керуючий сигнал на відповідну групу світильників, що забезпечує їх активацію на визначений часовий проміжок, достатній для комфортного та безпечного пересування, після чого система автоматично повертається у вихідний стан.

Реалізований алгоритм передбачає, що у разі спрацювання датчика руху під час активної фази роботи система освітлення залишається увімкненою на додатковий часовий інтервал, що дозволяє уникнути постійного ввімкнення та вимкнення світильників і забезпечує рівномірне освітлення упродовж фактичного перебування людей у зоні дії системи.

Алгоритмічна структура функціонування підсистеми освітлення зон короткочасного перебування викладена на рисунку 3.2.

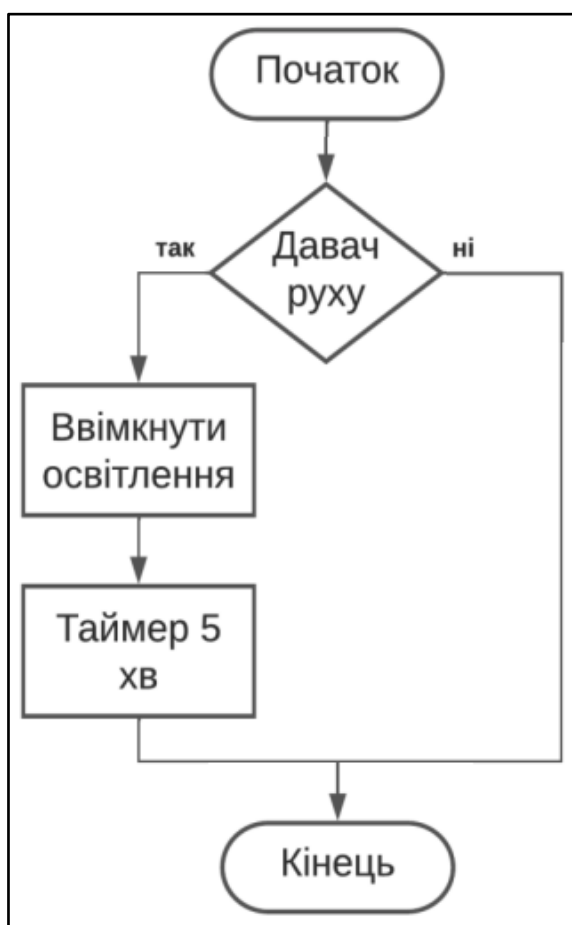


Рисунок 3.2 – Алгоритм роботи системи автоматичного керування освітленням у зонах короткочасного перебування

Подібний підхід застосовано і для реалізації алгоритму роботи підсистеми зовнішнього освітлення, де керування світильниками здійснюється на основі комбінації даних з фотодатчиків освітленості та датчиків руху, причому

основним критерієм активації освітлення є досягнення рівня природного освітлення, характерного для сутінкового стану або повної темряви, що фіксується спеціалізованими сенсорами та передається на контролер у вигляді сигналу логічної одиниці.

За умов наявності такого сигналу та підтвердження руху в зоні контролю система формує керуючий імпульс на активацію зовнішніх світильників із визначенням тривалості їх роботи, що дозволяє уникнути непотрібної витрати електроенергії та забезпечити ефективне освітлення лише за наявності реальної потреби, після завершення встановленого проміжку часу система автоматично вимикає освітлення або продовжує його роботу у разі повторного спрацювання датчиків.

Водночас як і у випадку із зонами короткочасного перебування у разі фіксації руху у неробочий час система переходить у режим тривоги та активує сигналізацію до моменту втручання оператора або відповідального персоналу через інтерфейс керування.

Усі описані процеси реалізуються за допомогою одного модуля керування, побудованого на основі програмованого логічного контролера серії Logo!, який забезпечує обробку сигналів від усіх сенсорів, формування керуючих команд та реалізацію заданих алгоритмів роботи у відповідності до встановлених параметрів та умов функціонування кіберфізичної системи керування вуличним освітленням.

3.2 Розробка програмного забезпечення системи автоматичного керування освітленням

На основі розробленого алгоритму було створено програму яка відіграє ключову роль у забезпеченні ефективної та безперебійної роботи всієї системи освітлення міських територій, промислових зон та приватних об'єктів.

					<i>КвРКІ.22012.22.02.22 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

Ця програма спроектована таким чином, щоб максимально раціонально використовувати наявні енергоресурси, оптимізувати витрати електроенергії та забезпечити гнучке регулювання режимів роботи світлотехнічного обладнання залежно від реальних умов зовнішнього середовища.

Крім того, програмне забезпечення забезпечує постійний моніторинг стану обладнання, контроль за всіма параметрами роботи світильників і контролерів, а також оперативне реагування на виникнення аварійних чи позаштатних ситуацій.

Це дозволяє не лише своєчасно виявляти несправності, а й значно спрощує процес технічного обслуговування та продовжує термін експлуатації всієї системи. Загальний вигляд створеної програми та її інтерфейс представлено на рисунку 3.3

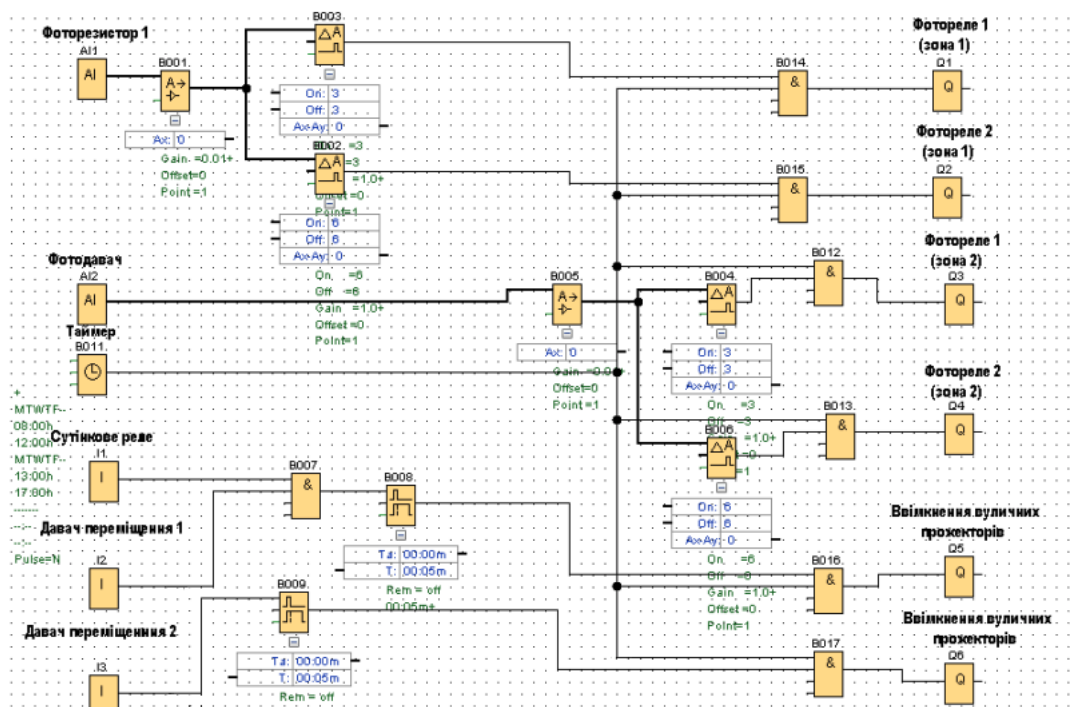


Рисунок 3.3 – Вигляд програми автоматичного керування освітленням

На етапі проєктування визначено склад вхідних та вихідних сигналів, що забезпечують збирання даних з датчиків та формування команд на виконавчі

пристрої. Вхідними сигналами виступають аналогові значення напруги від фотодіодів, що відображають рівень природного освітлення у різних частинах контрольованої території, сигнал від сутінкового реле, яке реагує на зміну інтенсивності зовнішнього світла, а також команди від датчиків руху, розміщених у критичних зонах вулиці та на в'їздах, що дозволяє системі оперативно реагувати на появу рухомих об'єктів у зоні контролю.

Додатково передбачено використання віртуальних таймерів, які регулюють роботу системи відповідно до заздалегідь встановленого добового графіка та дозволяють автоматично змінювати режими функціонування освітлення залежно від часу доби. Вихідні сигнали формуються контролером та спрямовуються на виконавчі пристрої, які забезпечують вмикання та вимикання окремих груп світильників чи потужних вуличних прожекторів у залежності від рівня освітленості та наявності руху у відповідній зоні.

Особливу увагу під час розробки алгоритму приділено залежності роботи освітлення від рівня природного освітлення, визначеного за допомогою фотодіодів, які постійно вимірюють інтенсивність зовнішнього світла та передають ці дані на аналогові входи контролера.

У разі достатнього природного освітлення система не подає команду на ввімкнення ліхтарів, забезпечуючи економію електроенергії. При зниженні рівня природного освітлення до середнього значення система активує лише частину освітлювальних приладів для підтримання комфортного рівня освітленості, а за умов суттєвого зменшення зовнішнього світла або у нічний час вмикається повний комплект вуличного освітлення.

Діапазон робочого часу встановлюється за допомогою вбудованого в контролер реле часу, яке дозволяє чітко визначити години роботи системи освітлення та гарантувати її відключення у періоди, коли освітлення не є необхідним, що додатково забезпечує ефективність та безпечність експлуатації всієї системи.

					<i>КвРКІ.22012.22.02.22 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

Для запобігання частим перемиканням у разі короткочасних коливань освітленості впроваджено гітерезис із затримкою в кілька секунд перед кожним увімкненням чи вимкненням світильників. Приклад налаштування робочого часу для даної системи представлено на рисунку 3.4.

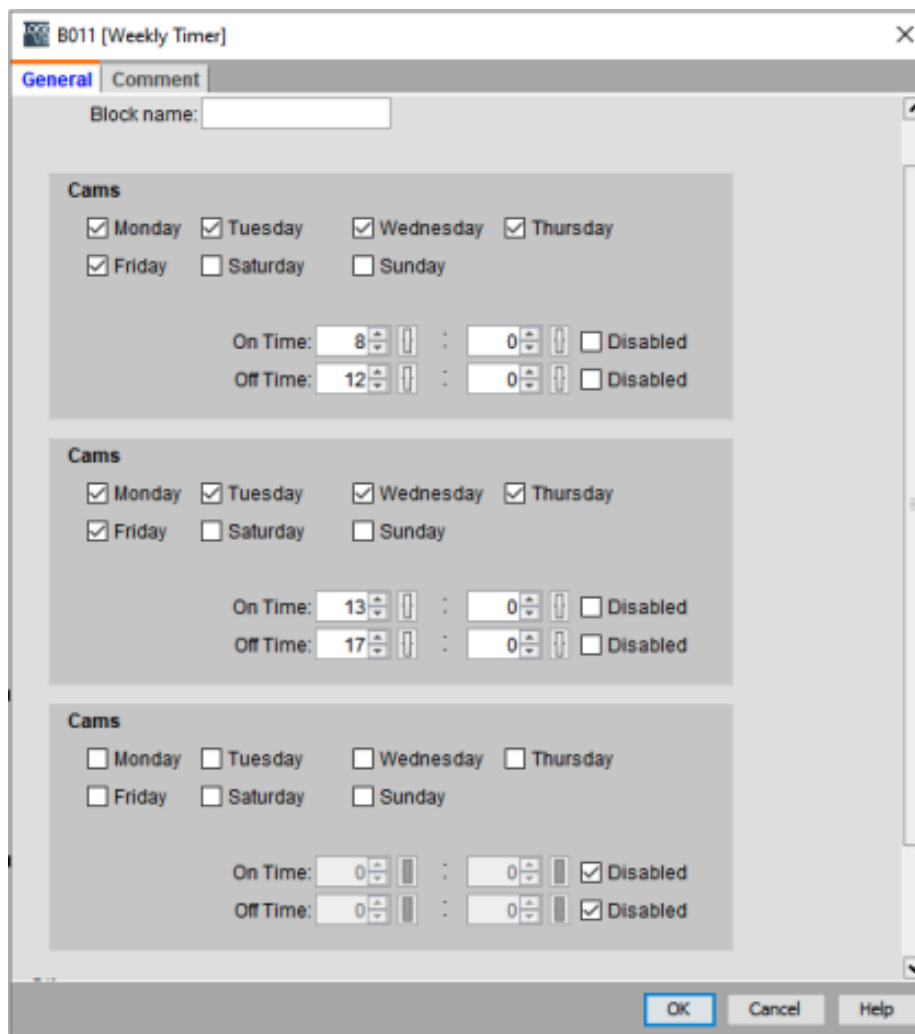


Рисунок 3.4 – Налаштування робочого часу через вбудоване у LOGO! реле часу

Аналогові компаратори відіграють важливу роль у побудові логіки прийняття рішень контролером, оскільки саме завдяки ним система оцінює поточний рівень освітленості та приймає рішення щодо доцільності вмикання чи вимикання окремих елементів освітлення. Керування годинником реле може здійснюватися віддалено через мобільний додаток, що дозволяє оперативно

коригувати графік роботи в залежності від надзвичайних подій чи святкових днів. У режимі часткового освітлення застосовується адаптивне димування, яке знижує яскравість до 50 % у безлюдні години, зберігаючи при цьому мінімальний рівень безпеки на дорогах. Налаштування режиму спрацювання аналогового компаратора наочно відображено на рисунку 3.5.

Рисунок 3.5 – Налаштування аналогового компаратора

Таким чином, при високому рівні природного освітлення система переводиться у режим очікування, при середньому рівні вмикається лише

частина світильників для створення комфортних умов, а при низькому рівні освітлення або у темну пору доби відбувається активація повного комплексу вуличних ліхтарів та прожекторів для забезпечення необхідного рівня освітлення у критичних зонах території. Додатковим елементом системи виступає блок обробки сигналів від датчиків руху, які забезпечують активацію освітлення лише у разі виявлення руху у контрольованій зоні. Це дозволяє системі працювати у динамічному режимі, вмикаючи освітлення лише тоді, коли це дійсно потрібно, що суттєво знижує витрати на електроенергію та підвищує ефективність функціонування системи в цілому.

У разі отримання сигналу від одного з датчиків руху, розташованих на периметрі або в зоні в'їзду, контролер формує відповідний вихідний сигнал, який активує відповідну групу світильників або прожекторів, одночасно система перевіряє встановлені часові обмеження для уникнення випадкових спрацювань у періоди, коли освітлення не передбачено.

Вмикання вуличних світильників здійснюється у разі спрацювання датчика руху, що фіксує наявність об'єкта в контрольованій зоні, а також при надходженні сигналу від сутінкового реле, яке реагує на зниження рівня природного освітлення нижче встановленого порогу.

При цьому додатково відстежується час доби, оскільки активація освітлення дозволяється лише у межах заданого інтервалу, який встановлюється відповідно до потреб забезпечення комфортного та безпечного пересування територією вулиці як перед початком робочого дня, так і після його завершення.

Це дозволяє гарантувати наявність освітлення у моменти, коли працівники прямують до робочого місця або залишають його.

Оптимальним вважається інтервал з шостої години ранку до двадцятої першої години вечора, що забезпечує достатній запас часу для безпечного пересування на території. Приклад налаштування таймера робочого часу зовнішнього освітлення відображено на рисунку 3.6.

					<i>КвРКІ.22012.22.02.22 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

Важливим елементом системи є передбачення автоматичного вимкнення освітлення після завершення певного інтервалу часу, що спрацьовує після активації освітлювальних приладів внаслідок надходження сигналу з датчиків руху.

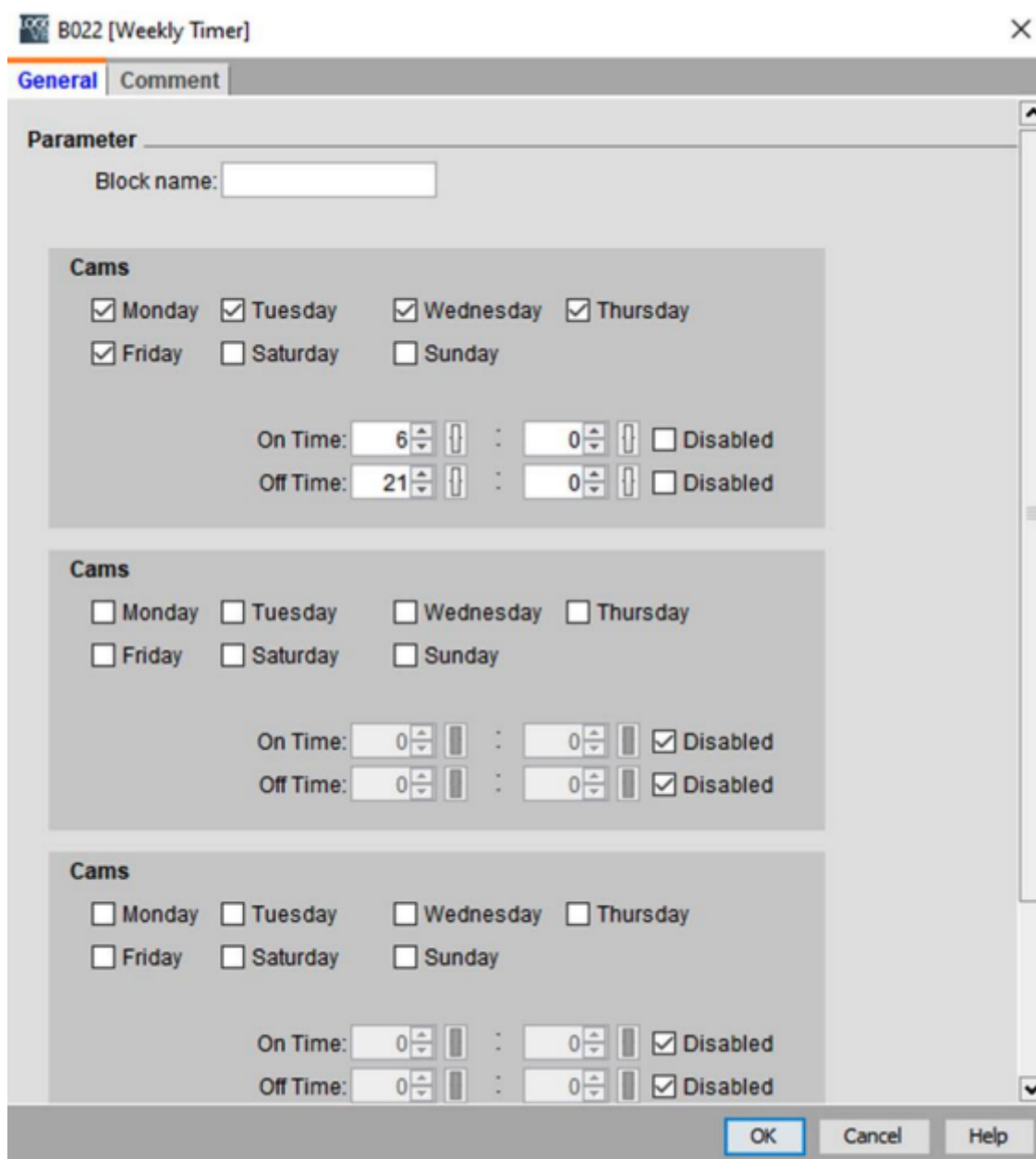


Рисунок 3.6 – Налаштування робочого часу через вбудоване у LOGO! реле часу

Це рішення забезпечує додаткову економію електроенергії та підвищує загальну ефективність роботи системи, оскільки дозволяє уникати зайвого

споживання ресурсів у разі відсутності руху на контрольованій ділянці. Часовий проміжок для роботи освітлення після спрацювання датчика може складати дві хвилини, а його тривалість регулюється за допомогою окремих таймерів, які налаштовуються відповідно до конкретних умов експлуатації системи. Налаштування цих таймерів наочно представлено на рисунку 3.7.

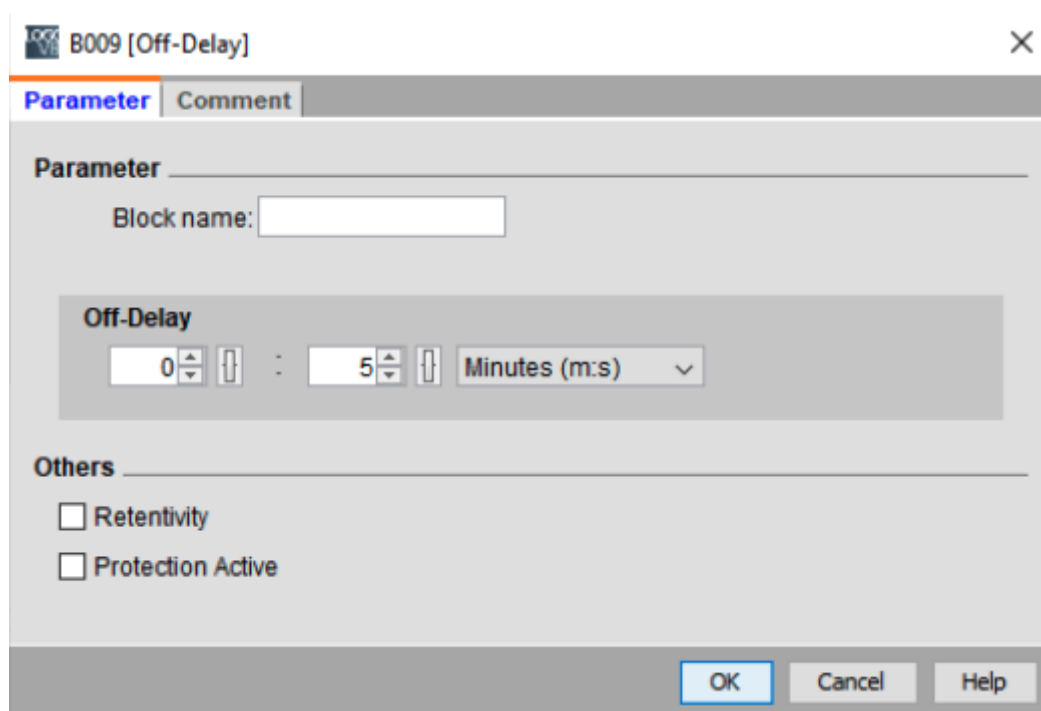


Рисунок 3.7 – Налаштування таймерів B008, B009, B010

Розроблене програмне забезпечення дозволяє у повністю автоматичному режимі здійснювати контроль за станом вуличного освітлення з урахуванням рівня природного світла та наявності руху в контрольованих зонах. У разі виявлення несправностей окремих світильників система миттєво надсилає сповіщення на центральний сервер для оперативного технічного обслуговування

Завдяки цьому досягається високий рівень енергоефективності, оскільки штучне освітлення вмикається виключно за умов реальної необхідності, що знижує витрати на електроенергію та сприяє підвищенню загальної економічної доцільності впровадження такої системи у міському середовищі або на території

виробничих чи адміністративних об'єктів. У разі виявлення несправностей окремих світильників система миттєво надсилає сповіщення на центральний сервер для оперативного технічного обслуговування.

3.3 Висновки до третього розділу

У третьому розділі дипломної роботи було проведено детальну розробку алгоритму функціонування кіберфізичної системи автоматичного керування вуличним освітленням та створено відповідне програмне забезпечення для її реалізації. Зважаючи на особливості функціонування системи виключно на відкритих територіях, де освітлення виконує роль забезпечення безпеки та комфортного пересування, алгоритм керування побудовано з урахуванням зонального поділу простору та використання сучасних засобів автоматизації, таких як датчики руху та фотодіоди.

В основі системи лежить один модуль керування, реалізований на базі програмованого логічного контролера Siemens LOGO! 230RC, що забезпечує централізовану обробку вхідних сигналів та формування команд на виконавчі пристрої.

Для програмування роботи контролера застосовано метод розробки програмного коду за допомогою персонального комп'ютера з використанням середовища LOGO! Soft Comfort.

У даному середовищі на основі графічної мови Function Block Diagram створено програмний алгоритм, який виконує керування процесом вмикання та вимикання штучних джерел освітлення відповідно до поточних умов зовнішнього середовища, сигналів від сенсорних пристроїв та встановлених часових обмежень, забезпечуючи надійність, енергоефективність та повну автоматизацію роботи системи.

ВИСНОВКИ

Було завершено розробку та апробацію комплексного алгоритму функціонування кіберфізичної системи автоматичного керування вуличним освітленням і створенням програмне забезпечення, яке реалізує цей алгоритм.

Центральним елементом системи виступає єдиний модуль керування на базі програмованого логічного контролера Siemens LOGO! 230RC, у середовищі LOGO! Soft Comfort якого за допомогою графічної мови Function Block Diagram побудовано послідовність умовних переходів і операцій.

В основі програмної логіки лежить зональний поділ міського простору на магістралі з постійним інтенсивним рухом, другорядні вулиці і тротуари з епізодичною активністю та допоміжні території (сквери, паркувальні майданчики), що дозволяє тонко налаштувати режими освітлення для кожної функціональної ділянки.

Система аналізує дані фотодіодів і датчиків руху, порівнює поточні показники з заданими порогами та, враховуючи встановлені часові інтервали, адаптивно регулює яскравість або вмикає й вимикає окремі групи світильників.

Для запобігання зайвим перемиканням запроваджено гітерезис і таймерні затримки, а у разі виявлення несправностей контролер миттєво надсилає повідомлення на центральний сервер для оперативного технічного обслуговування.

Завдяки поєднанню зональної стратегії, адаптивного димування, використання вбудованих реле часу та віддаленого керування реалізовано високий рівень енергоефективності та надійності: штучне освітлення працює лише за реальної потреби, а баланс між безпекою та економією енергоресурсів досягається в режимі реального часу.

Усі ці рішення роблять систему вуличного освітлення по-справжньому кіберфізичною, гнучкою і масштабованою, що відповідає сучасним вимогам «розумного міста».

					<i>КвРКІ.22012.22.02.22 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Siwar Khemakhem, Lotfi Krichen, A comprehensive survey on an IoT-based smart public street lighting infrastructure for smart cities. *Smart Infrastructure and Construction*. 2024. Vol. 3, No. 1. p 7. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fraope.2024.100142>
2. Poyyamozi, M., Murugesan, B., Rajamanickam, N., Shorfuzzaman, M., & Aboelmagd, Y. (2024). IoT—A Promising Solution to Energy Management in Smart Buildings: A Systematic Review, Applications, Barriers, and Future Scope. *Buildings*, 14(11), 3446. DOI: <https://doi.org/10.3390/buildings14113446>.
3. Nethravathy L., Suheb Khan R. S., Vishal N., Pooja M. R., Meghana M. Intelligent Street Lighting System for Smart City. *SSRN Electronic Journal*. 2021. p 3 DOI: <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3833878>
4. Anurak Thungtong, Chanchai Chaichan, Korakot Suwannarat. A web-based control system for traditional street lighting that uses IoT devices. *PLoS One*. 2021. Vol. 16, No. 11, p.8-329. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08329>
5. Siddhesh Deshpande, Sheng-Jen Hsieh. Cyber-Physical System for Smart Traffic Light Control. *Sensors*. 2023. Vol. 23, No. 11. p 6 DOI: <https://doi.org/10.3390/s23115028>
6. Amjad Omar, Sara AlMaeni, Hussain Attia, Maen Takturi, Ahmed Altunaiji, Mihai Sanduleanu, Raed Shubair, Moh'd Sami Ashhab, Maryam Al Ali, Ghaya Al Hebsi. Smart City: Recent Advances in Intelligent Street Lighting Systems. *Journal of Advanced Transportation*. 2022. Vol. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1155/2022/5249187>
7. Gianni Pasolini, Paolo Toppan, Andrea Toppan, Rudy Bandiera, Mirko Mirabella, Flavio Zabini, Diego Bonata, Oreste Andrisano. Comprehensive Assessment of Context-Adaptive Street Lighting. *Sensors*. 2024. Vol. 24, No. 18. p 4-8 DOI: <https://doi.org/10.3390/s24185942>

					<i>КвРКІ.22012.22.02.22 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

8. Kirti Ruikar, Ketan Kotecha, Sayali Sandbhor, Albert Thomas. Towards Next Generation Cyber-Physical Systems: Data Integration and Digital Twins. *ITcon*. 2021. Vol. 26, pp. 505–525. DOI: <https://dx.doi.org/10.36680/j.itcon.2021.027>
9. Konrad Henryk Bachanek, Blanka Tundys, Tomasz Wiśniewski, Ewa Puzio, Anna Maroušková. Intelligent Street Lighting in a Smart City Concepts – A Direction to Energy Saving in Cities: An Overview and Case Study. *Energies*. 2021. Vol. 14, No. 11. DOI: <https://doi.org/10.3390/en14113018>
10. Manal Fadhil Younis, Sarah Sadeq Salim. Cloud Based Automatic Street Lighting Control System. *Journal of Physics: Conference Series*. 2021. Vol. 1973. p 2-7 DOI: <https://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/1973/1/012112>
11. Ioannis Stellos, Kostas Mokos, Panayiotis Kotzanikolaou. Assessing Smart Light Enabled Cyber-Physical Attack Paths on Urban Infrastructure. *Journal of Information and Telecommunication*. 2022. Vol. 6, No. 4. p 1-4 DOI: <https://doi.org/10.1080/09540091.2022.2072470>
12. Fouad Agramelal, Mohamed Sadik, Youssef Moubarak, Saad Abouzahir. Smart Street Light Control: A Review on Methods, Innovations, and Challenges. *Energies*. 2023. Vol. 16, No. 21. DOI: <https://doi.org/10.3390/en16217415>
13. Hyo Kang, Ryan Sharston, Jingyuan Shen, Read Hayes. When a Stranger Approaches at Night: The Impact of Adaptive Street Lighting on Fear of Crime. *Journal of Applied Security Research*. 2024. Vol. 19, No. 1. p 141-146 DOI: <https://doi.org/10.1080/15502724.2024.2396340>
14. Rajesh Singh, Konda Hari Krishna, Rajesh Kumar, Anita Gehlot, Shaik Vaseem Akram, Sushabhan Chodhury, Yashwant Singh Bisht, Kailash Bisht, Kapil Joshi. Long Range and Server Inspired Internet of Smart Street Lights. *Electronic Engineering & Informatics*. 2022. Vol. 12, No. 1. p 3 DOI: <https://doi.org/10.11591/eei.v12i1.4044>
15. Haoyu Jiang, Xiaolong Zhao, Zeguo Zhang, Jiacheng Ji. Research on Adaptive Dimming Management Methods for Intelligent Street Lighting Systems.

Frontiers in Marine Science. 2024. Vol. 11. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmars.2024.1493275>

16. Amit Kumar Tyagi, N. Sreenath. Cyber Physical Systems: Analyses, Challenges and Possible Solutions. *Journal of Industrial Information Integration*. 2021. Vol. 22. p 22-33 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.iotcps.2021.12.002>

17. Kaushalya Thopate, Shivam More, Komal Thakare, Rohan Waware, Janhavi Gangurde, Aarati Ghuge. Smart Street Light Monitoring System for Enhanced Energy Efficiency. *Asian Journal of Research in Computer Science*. 2021. Vol. 8, No. 1. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICESC57686.2023.10193465>

18. Sahil Garg, Sahil Ahuja, Sukhchandan Randhawa. Real Time Adaptive Street Lighting System. *Springer Lecture Notes*. 2023. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-15-3666-3_19

19. Sergio Barroso, Pablo Bustos, Pedro Núñez. Towards a Cyber-Physical System for Sustainable and Smart Building. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*. 2021. Vol. 12. p 6379–6399, DOI: <https://doi.org/10.1007/s12652-021-03656-1>

20. Fouad Agramelal, Mohamed Sadik, Youssef Moubarak, Saad Abouzahir. Street Lighting Control System Based on Large-Scale WSN. *International Journal of Distributed Sensor Networks*. 2021. Vol. 17, No. 8. p 11-13 DOI: <https://doi.org/10.3390/en16217415>

21. Julie Pauwels, Isabelle Le Viol, Yves Bas, Nicolas Valet, Christian Kerbirou. Adapting Street Lighting to Limit Light Pollution’s Impacts on Bats. *Global Ecology and Conservation*. 2021. Vol. 28. p 9 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2021.e01648>

22. M. B. Younes, A. Boukerche, F. De Rango. SmartLight: A smart efficient traffic light scheduling algorithm for green road intersections. *Ad Hoc Networks*. 2023. Vol. 140, p. 103061. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.adhoc.2022.103061>

23. Y. Liu, Y. Xiao, K. Li. A Low-Power and Low-Cost Smart Streetlight System Based on Internet of Things. *Telecommunication Systems*. 2021. Vol. 76, No. 4, p. 527–539. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11235-021-00847-1>
24. M. Kanthi, R. Dilli. Smart Streetlight System Using Mobile Applications: Secured Fault Detection and Diagnosis with Optimal Powers. *Telecommunication Systems*. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11276-023-03278-9>
25. P. Tomczuk, M. Chrzanowicz, P. Jaskowski, M. Budzynski. Evaluation of Street Lighting Efficiency Using a Mobile Measurement System. *Energies*. 2021. Vol. 14, No. 13, p. 3872. DOI: <https://doi.org/10.3390/en14133872>
26. Florian Hofer, Barbara Russo. Architecture and Its Vulnerabilities in Smart-Lighting Systems. *Lecture Notes in Computer Science*. 2021. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-05516-4_10
27. D. Saha, S. M. Sorif, P. Dutta. Weather Adaptive Intelligent Street Lighting System with Automatic Fault Management Using Boltuino Platform. *In: 2021 International Conference on ICT for Smart Society (ICISS)*. 2021, pp. 1–6. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICISS53185.2021.9533234>
28. M. A. Mustafa, A. S. Ibrahim, M. A. Rahman, E. Al-Shaer. Assessing Smart Light Enabled Cyber-Physical Attack Paths on Urban Traffic Control Systems. *Connection Science*. 2022. Vol. 34, No. 1, p. 1–23. DOI: <https://doi.org/10.1080/09540091.2022.2072470>
29. S. Aoki, R. Rajkumar. Cyber Traffic Light: Safe Cooperation for Autonomous Vehicles at Dynamic Intersections. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*. 2022. Vol. 23, No. 11, p. 519–534. DOI: <https://doi.org/10.1109/TITS.2022.3146457>
30. (Duplicate of item 23) Y. Liu, Y. Xiao, K. Li. A Low-Power and Low-Cost Smart Streetlight System Based on Internet of Things. *Telecommunication Systems*. 2021. Vol. 76, No. 4, p. 527–539. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11235-021-00847-1>

<https://doi.org/10.1109/ICSCSS57650.2023.10169466>

39. A. Akanmu, C. J. Anumba, O. O. Ogunseiju. Towards Next Generation Cyber-Physical Systems and Digital Twins for Construction. *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*. 2021. Vol. 26, p. 505–525. DOI: <https://doi.org/10.36680/j.itcon.2021.027>

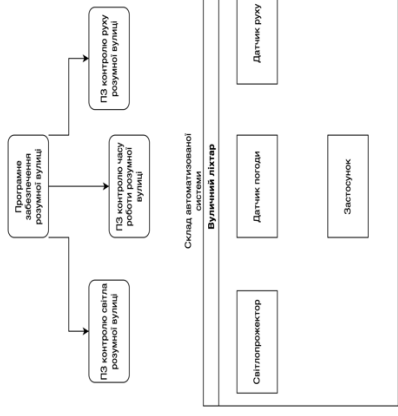
40. F. Zeng, C. Pang, H. Tang. Sensors on Internet of Things Systems for the Sustainable Development of Smart Cities: A Systematic Literature Review. *Sensors*. 2024. Vol. 24, No. 7, p. 2074. DOI: <https://doi.org/10.3390/s24072074>

					<i>КвРКІ.22012.22.02.22 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

Додаток А

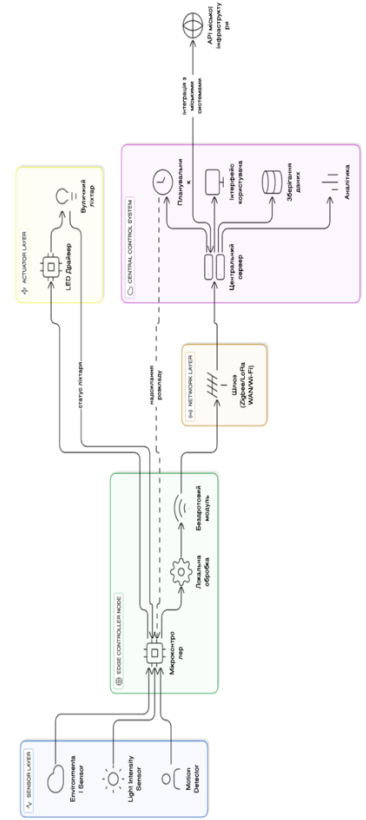
КвРКІ.22012.22.02.22.E8

Структура програмного забезпечення розумної вулиці

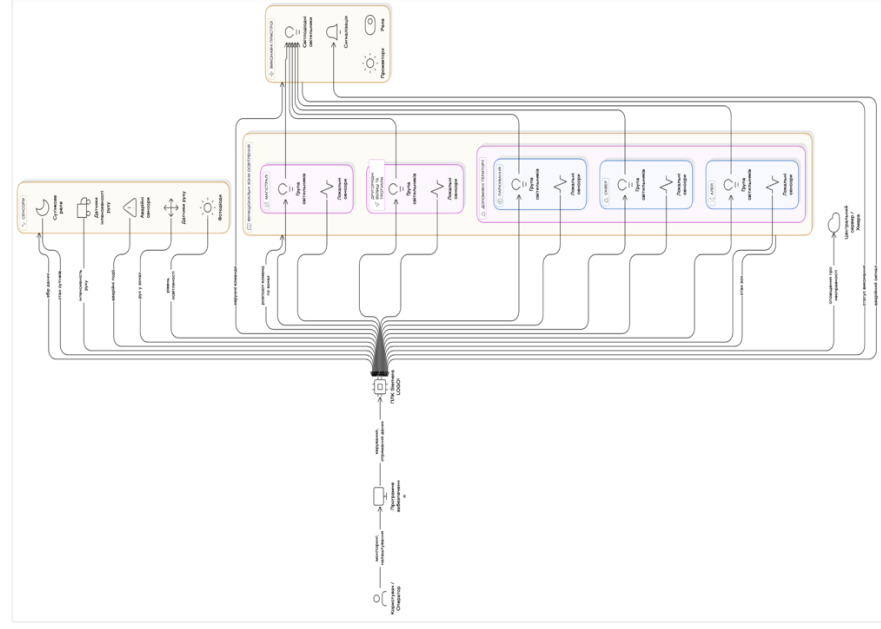


Оператор міської системи

Діаграма-компонент

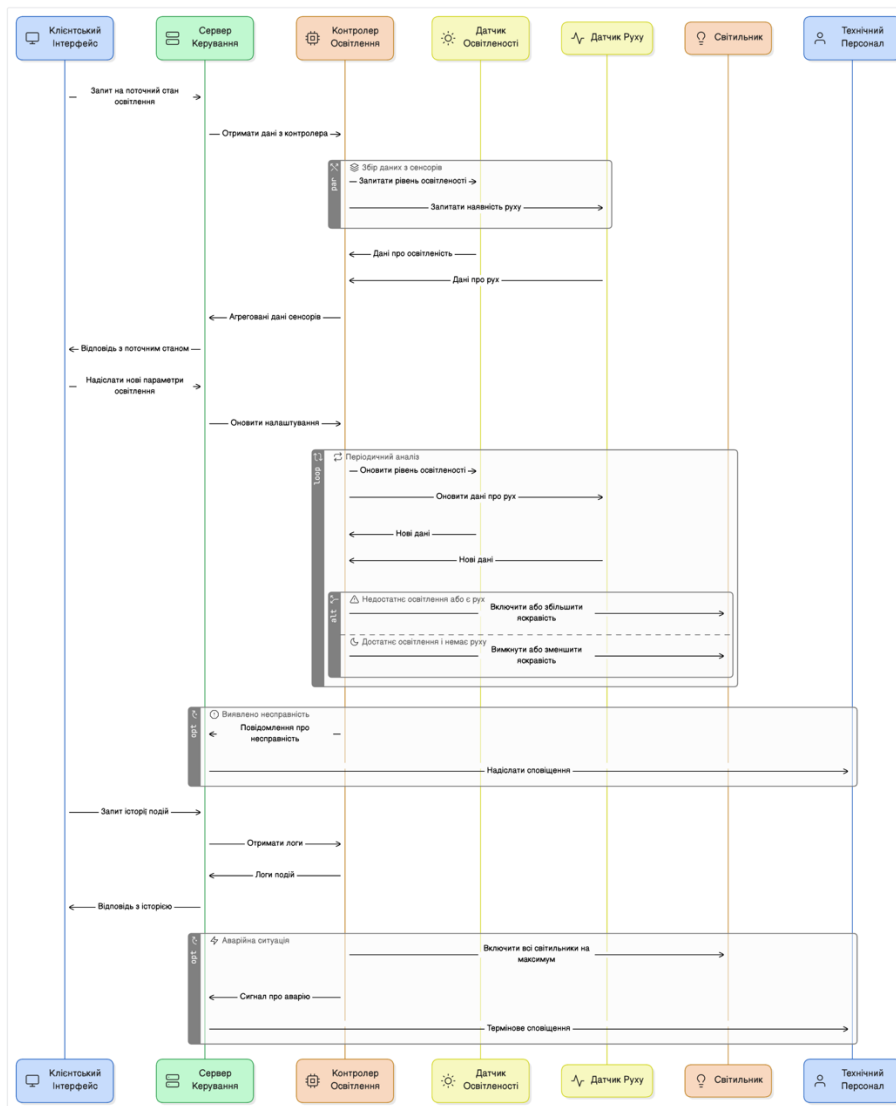


Архітектура програмного комплексу



КвРКІ.22012.22.02.22.E8		Літ	Маса	Масштаб
Зм.Арк.	№ докум.	Підпис/Дата	Кібернетична система керування вуличним освітленням розумної вулиці	
Розроб.	Заказчик РВ	Н	Архітектура ПЗ для кібернетичної системи	
Перевір.	Спеціаліст О.С.	Архус	Архус	Архус
Т.контр.	Н.контр.	Кіслів	ХНУ, КІС-22-2	
Загверд.	Павлюк			

Додаток Б



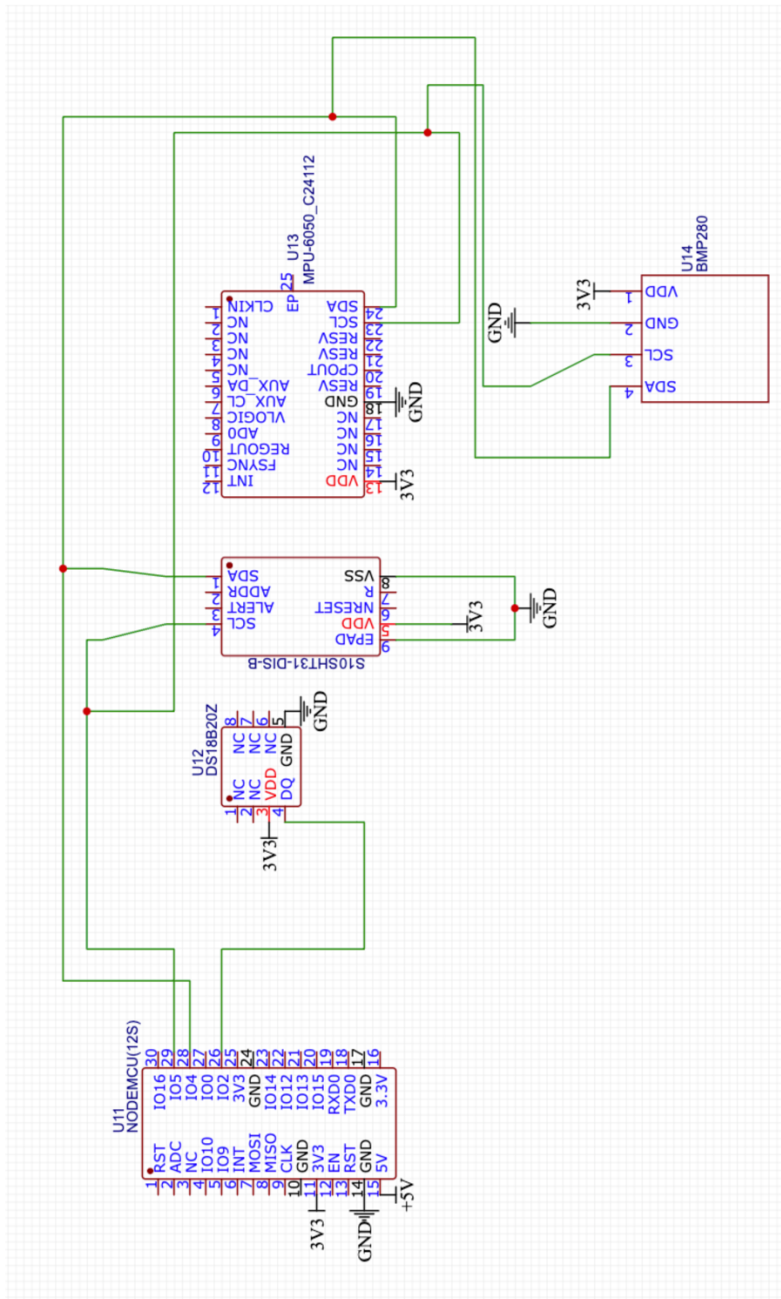
КвРКІ.22012.22.02.22 E8

ЛПТ	Місця	Місця/аб
Н	Н	
Абруш 2	Абруш 3	
Кіберфізична система керування вуличним освітленням розумної вулиці		
Архитектура ІІЗ		
ХНУ, КІ2С-22-2		
Змі/Аук.	№ докум.	Підпис/Дата
Розроб.	Виконав.	Перевір.
Т.КОНТ.	С.Савиць О.С.	
Н.КОНТ.	К.Касьян	
Затверд.	П.Лавова	

КвРКІ.22012.22.02.22 E8

Додаток В

КвРК1.220112.22.02.22.E8



КвРК1.220112.22.02.22.E8	Кіберфізична система керування вантажним освітленням розумної вулиці	Літ.	Місяць
Зад. Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
Розроб	Виконав	ГР	
Перевір	Спеціаліст	О.С.	
К.Батр	К.Батр		
Н.Монтр.	К.Мель	Архив	3
Затверд.	Пашока	ХНУ	КІС-22-2

Додаток Г

Код програми

```
#include <Arduino.h>

// PIN DEFINITIONS
const uint8_t PIN_MAIN_LIGHT = 9; // PWM-pin for MainRoadZone
const uint8_t PIN_SECONDARY_LIGHT = 10; // PWM-pin for SecondaryZone
const uint8_t PIN_AUXILIARY_LIGHT = 11; // PWM-pin for AuxiliaryZone
const uint8_t PIN_MOTION_SECONDARY = 5; // PIR for SecondaryZone
const uint8_t PIN_MOTION_AUX = 6; // PIR for AuxiliaryZone
const uint8_t PIN_LIGHT_SENSOR = A0; // LDR analog input

// LIGHT THRESHOLDS (0..1023)
const int LIGHT_THRESHOLD_DAY = 700; // достатньо світла →
вимикання
const int LIGHT_THRESHOLD_DUSK = 400; // початок сутінків →
увімкнення
const int LIGHT_THRESHOLD_DEEP_DUSK = 200; // глибока темрява →
екстремний режим
const int LIGHT_HYSTERESIS = 50; // гістерезис

// DIMMING LEVELS
const uint8_t BRIGHT_FULL = 255; // 100%
const uint8_t BRIGHT_DIMMED = 128; // 50%
const uint8_t BRIGHT_MINIMAL = 64; // 25%

// TIMEOUTS (ms)
const unsigned long TIMEOUT_SECONDARY = 120000UL; // 2 хв
const unsigned long TIMEOUT_AUXILIARY = 300000UL; // 5 хв
```

```

// WORK INTERVAL (міграція RTC – тут лише умовно)
// const int WORK_HOUR_START = 6; // 6:00
// const int WORK_HOUR_END = 21; // 21:00

// STATES
bool stateMain = false;
bool stateSecondary = false;
bool stateAuxiliary = false;

// TIMERS
unsigned long timerSecondaryStart = 0;
unsigned long timerAuxiliaryStart = 0;

// HYSTERESIS
int prevLightValue = 1023;

// READ LIGHT LEVEL
int readLightValue() {
    return analogRead(PIN_LIGHT_SENSOR);
}

// SET LIGHT OUTPUT (PWM)
void setLightOutput(uint8_t pin, uint8_t brightness) {
    analogWrite(pin, brightness);
}

// DETERMINE NIGHT/DAWN/DEEP DUSK
enum LightState {
    DAY,
    DUSK,

```

```
NIGHT,  
DEEP_DUSK  
};
```

```
LightState evaluateLightState(int currentLight) {  
    LightState result;  
    if (currentLight < LIGHT_THRESHOLD_DEEP_DUSK) {  
        result = DEEP_DUSK;  
    } else if (currentLight < LIGHT_THRESHOLD_DUSK) {  
        result = NIGHT;  
    } else if (currentLight < LIGHT_THRESHOLD_DAY) {  
        result = DUSK;  
    } else {  
        result = DAY;  
    }  
    // Гістерезис  
    if (prevLightValue <= LIGHT_THRESHOLD_DUSK - LIGHT_HYSTERESIS  
&&  
        currentLight < LIGHT_THRESHOLD_DAY + LIGHT_HYSTERESIS) {  
        if (currentLight >= LIGHT_THRESHOLD_DAY + LIGHT_HYSTERESIS)  
result = DAY;  
    }  
    if (prevLightValue >= LIGHT_THRESHOLD_DAY + LIGHT_HYSTERESIS  
&&  
        currentLight < LIGHT_THRESHOLD_DUSK - LIGHT_HYSTERESIS) {  
        if (currentLight >= LIGHT_THRESHOLD_DUSK - LIGHT_HYSTERESIS)  
result = DUSK;  
    }  
    prevLightValue = currentLight;  
    return result;  
}
```

```

}

void setup() {
  Serial.begin(115200);
  pinMode(PIN_MAIN_LIGHT, OUTPUT);
  pinMode(PIN_SECONDARY_LIGHT, OUTPUT);
  pinMode(PIN_AUXILIARY_LIGHT, OUTPUT);
  pinMode(PIN_MOTION_SECONDARY, INPUT);
  pinMode(PIN_MOTION_AUX, INPUT);
  pinMode(PIN_LIGHT_SENSOR, INPUT);
  setLightOutput(PIN_MAIN_LIGHT, 0);
  setLightOutput(PIN_SECONDARY_LIGHT, 0);
  setLightOutput(PIN_AUXILIARY_LIGHT, 0);
}

// PROCESS MAIN ROAD ZONE
void processMainZone(LightState ls, bool emergency) {
  if (emergency || ls == DEEP_DUSK) {
    stateMain = true;
    setLightOutput(PIN_MAIN_LIGHT, BRIGHT_FULL);
    return;
  }
  if (ls == NIGHT) {
    stateMain = true;
    setLightOutput(PIN_MAIN_LIGHT, BRIGHT_FULL);
  } else if (ls == DUSK) {
    stateMain = true;
    setLightOutput(PIN_MAIN_LIGHT, BRIGHT_DIMMED);
  } else { // DAY
    stateMain = false;

```

```

    setLightOutput(PIN_MAIN_LIGHT, 0);
}
}

// PROCESS SECONDARY ZONE
void processSecondaryZone(LightState ls, bool emergency, unsigned long now) {
    bool motion = digitalRead(PIN_MOTION_SECONDARY) == HIGH;
    if (emergency || ls == DEEP_DUSK) {
        stateSecondary = true;
        timerSecondaryStart = now;
        setLightOutput(PIN_SECONDARY_LIGHT, BRIGHT_FULL);
        return;
    }
    if (ls == NIGHT && motion) {
        stateSecondary = true;
        timerSecondaryStart = now;
        setLightOutput(PIN_SECONDARY_LIGHT, BRIGHT_FULL);
    }
    if (stateSecondary && (now - timerSecondaryStart >=
TIMEOUT_SECONDARY)) {
        stateSecondary = false;
        setLightOutput(PIN_SECONDARY_LIGHT, 0);
    }
    if (ls == DUSK && motion) {
        stateSecondary = true;
        timerSecondaryStart = now;
        setLightOutput(PIN_SECONDARY_LIGHT, BRIGHT_DIMMED);
    }
    if (ls == DAY) {
        stateSecondary = false;

```

```

    setLightOutput(PIN_SECONDARY_LIGHT, 0);
}
}

// PROCESS AUXILIARY ZONE
void processAuxiliaryZone(LightState ls, bool emergency, unsigned long now) {
    bool motion = digitalRead(PIN_MOTION_AUX) == HIGH;
    if (emergency || ls == DEEP_DUSK) {
        stateAuxiliary = true;
        timerAuxiliaryStart = now;
        setLightOutput(PIN_AUXILIARY_LIGHT, BRIGHT_FULL);
        return;
    }
    if (ls == NIGHT && motion) {
        stateAuxiliary = true;
        timerAuxiliaryStart = now;
        setLightOutput(PIN_AUXILIARY_LIGHT, BRIGHT_FULL);
    }
    if (ls == DUSK && motion) {
        stateAuxiliary = true;
        timerAuxiliaryStart = now;
        setLightOutput(PIN_AUXILIARY_LIGHT, BRIGHT_DIMMED);
    }
    if (stateAuxiliary && (now - timerAuxiliaryStart >= TIMEOUT_AUXILIARY))
    {
        stateAuxiliary = false;
        setLightOutput(PIN_AUXILIARY_LIGHT, 0);
    }
    if (ls == DAY) {
        stateAuxiliary = false;

```

```

    setLightOutput(PIN_AUXILIARY_LIGHT, 0);
}
}

void loop() {
    unsigned long now = millis();
    int lightValue = readLightValue();
    LightState ls = evaluateLightState(lightValue);
    bool emergency = (lightValue < LIGHT_THRESHOLD_DEEP_DUSK);

    processMainZone(ls, emergency);
    processSecondaryZone(ls, emergency, now);
    processAuxiliaryZone(ls, emergency, now);

    Serial.print("Light=");
    Serial.print(lightValue);
    Serial.print(" State=");
    switch (ls) {
        case DAY:    Serial.print("DAY"); break;
        case DUSK:   Serial.print("DUSK"); break;
        case NIGHT:  Serial.print("NIGHT"); break;
        case DEEP_DUSK: Serial.print("EMERGENCY"); break;
    }
    Serial.print(" | Main=");
    Serial.print(stateMain ? "ON " : "OFF");
    Serial.print(" Sec=");
    Serial.print(stateSecondary ? "ON " : "OFF");
    Serial.print(" Aux=");
    Serial.println(stateAuxiliary ? "ON" : "OFF");
    delay(200);
}

```

}

РІШЕННЯ ЕКСПЕРТНОЇ КОМІСІЇ КАФЕДРИ КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА
ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ

Назва кваліфікаційної роботи Кіберфізична система керування вуличним освітленням розумної вулиці

Автор Ростислав ЗАВОДЯНИЙ

Освітня програма Комп'ютерна інженерія та програмування

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський) рівень

Спеціальність 123– Комп'ютерна інженерія

Науковий керівник: к.е.н., доцент, Світлана САЧЕНКО

На основі аналізу кваліфікаційної роботи на дотримання вимог академічної доброчесності (у т.ч. відсутності ознак академічного плагіату) з урахуванням результатів перевірки роботи спеціалізованим програмним засобом(ами) комісія зробила такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Ознаки академічного плагіату	
1.1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є академічним плагіатом (далі – зазначаються підстави віднесення запозичень до правомірних, якщо потрібно). Робота приймається до захисту.	Відповідає
1.2	Виявлені запозичення не є академічним плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи (далі – зазначаються детальні та аргументовані підстави віднесення запозичень до правомірних). Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована.	
1.3	Виявлені запозичення не є академічним плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. Робота може бути допущена до захисту після того як буде відкоригована та доопрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
1.4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укриття текстових запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	
2	Інші види порушень академічної доброчесності	Не виявлено

Підтвердження:

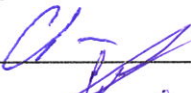
Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом, оскільки:

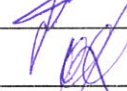
- 1) запозичення розміщені в розділах аналізу існуючих аналогів та прототипів, які не описують безпосередньо авторське дослідження і не стосуються результатів роботи;
 - 2) усі запозичення фрагментарні, або мають належним чином оформленні посилання;
 - 3) всі зафіксовані системою ознаки модифікації тексту відносяться до комбінування латинських символів зі україномовними скороченнями індексів в формулах, що не є модифікацією тексту.
- Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів/ ідентичності/схожості StrikePlagiarism, складає 3.7% і адресується до 25 першоджерела; та системою Anti-Plagiarism складає 0.6%, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру наукового дослідження і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.


Керівник роботи

Гарант ОП

Завідувач кафедри КІІС







Світлана САЧЕНКО

Андрій НІЧЕПОРУК

Ольга ПАВЛОВА

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломник: Заводяний Ростислав Вікторович

Тема: Кіберфізична система керування вуличним освітленням розумної вулиці

Спеціальність: 123 «Комп'ютерна інженерія»

Обсяг кваліфікаційної роботи:

Кількість листів креслень 3 Кількість сторінок записки 60

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень: Метою кваліфікаційної роботи є система керування вуличним освітленням розумної вулиці.
2. Висновок про відповідність роботи дипломному завданню: Робота повністю відповідає поставленому завданню.
3. Характеристика виконання кожного розділу, ступінь використання останніх досягнень науки і техніки і передових методів роботи: В першому розділі кваліфікаційної роботи проведено дослідження предметної області (проаналізовано теорію систем керування освітленням, а також розроблення і опис схем електричних функціональної і принципової) та виконано постановку задачі дослідження. В другому розділі кваліфікаційної роботи проведено моделювання та проектування системи керування вуличним освітленням, а саме: виконано формалізований опис системи освітлення; розроблено змістовну схему алгоритму; закодовано верхівки змістовної схеми алгоритму; розроблено закодовану мікроопераційну схему алгоритму; закодовано мікрокоманди; розроблено закодовану мікрокомандну схему алгоритму; побудовано основну схему керування; спроектовано схему компоновки модулів освітлення; визначено необхідну кількість елементів для реалізації системи керування; закодовано внутрішні стані автомату; розроблено структурну схему операційного автомату; побудовано схему операційного автомату. В третьому розділі кваліфікаційної роботи виконано апаратну реалізацію системи на основі існуючих рішень з використанням ESP8266, а саме: реалізовано схему електричну функціональну схеми керування; змодельовано схему в середовищі Wokwi, розроблено операційну частину в середовищі ArduinoIDE.

4. Позитивні сторони роботи: висока практична цінність роботи.

5. Негативні сторони роботи: недостатня увага моделюванню схеми автомату в середовищі Wokwi.

6. Оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки роботи: Пояснювальна записка оформлена коректно, згідно діючих стандартів оформлення документації.

7. Відгук про роботу в цілому: Робота виконана на належному науково-технічному рівні.

8. Інші зауваження: _____

9. Оцінка дипломної роботи: добре

Рецензент (прізвище, ім'я, по батькові, посада, місце роботи) _____

Коричи Андрій Вікторович
доцент кафедри ТІЗ

"2" вересня 2025 р.

(підпис)

Протокол аналізу звіту подібності експертом

Заявляю, що я ознайомився (-лась) з Повним звітом подібності, який був згенерований Системою виявлення і запобігання плагіату щодо роботи:

Автор: Ростислав ЗАВОДЯНИЙ

Співавтор:

Назва: Заводянийий_Кіберфізична система керування вуличним освітленням розумної вулиці

Експерт:

Підрозділ: Кафедра комп'ютерної інженерії та інформаційних систем

Коефіцієнт подібності 1: 3.7%

Коефіцієнт подібності 2: 0.6%

Мікропробіли: 0

Заміна букв: 2

Інтервали: 0

Білі знаки: 0

Дата створення звіту: 2025-05-31 08:02:12.0

Після аналізу Звіту подібності констатую наступне:

Запозичення, виявлені в роботі є законними і не є плагіатом. Рівень подібності не перевищує допустимої межі. Таким чином робота незалежна і приймається.

Запозичення не є плагіатом, але перевищено граничне значення рівня подібностей. Таким чином робота повертається на доопрацювання.

Виявлено запозичення і плагіат або навмисні текстові спотворення (маніпуляції), як передбачувані спроби укриття плагіату, які роблять роботу невідповідною вимогам законодавства (Ст. 32. ЗУ Про вищу освіту, пункт 3.1, Ст. 42. ЗУ Про освіту) та вимог НАЗЯВО (Критерій 5), а також кодексу етики і процедурам. Таким чином робота не приймається.

Обґрунтування:

2025-05-31

Дата



Доцент Андрій Нічепорук

експерт

Завідувачу кафедри КПС
д-р. філософії, доц. Ользі ПАВЛОВІЙ

Ростислава ЗАВОДЯНОГО *РЛ*

ПІБ здобувача вищої освіти

ФІТ, 3 курсу, групи КІ2с-22-2

ЗАЯВА

З правилами чинного Положення «Про систему забезпечення академічної доброчесності у Хмельницькому національному університеті» від 01.07.2022, згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений(а). Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на плагіат оповіщений(а) та надаю свою згоду на обробку та збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

Також надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних програмно-технічних засобів (Strike-Plagiarism та Anti-Plagiarism) та використання роботи для виявлення плагіату в інших роботах, які перевіряються програмно-технічними засобами та користувачами, що мають доступ до цих програмно-технічних засобів, виключно в обмежених цілях для виявлення плагіату в текстах робіт.

Робота для перевірки університетом надається в друкованому та електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

_____ 2025 року

Anti-Plagiarism (UA) v-15.281 Educational

The maximum coincidence with one document 15.0%

Dictionaries check: en_US, ru_RU, ua_UA. Errors in the documents: 10%

ID: 242694 Title: БКР Кіберфізична система керування вуличним освітленням розумної вулиці Added in a DB: 2025-05-31 Authors: Ростислав ЗАВОДЯНИЙ Heads: Олег САВЕНКО Consultants: Opponents:	Document		Sum coincidence on the DB	
	Symbols	Lexemes	Symbols	Lexemes
	93721	570	15359 (16%)	110 (19%)

Plagiarism sources

ID	Description	Plagiarism presence in the document	
		Symbols	Lexemes
241093	Title: Звіт з ПДП Розробка та впровадження автоматизованої системи управління виробничими процесами на підприємстві ТОВ «Деймос» Added in a DB: 2025-05-13 Authors: Заводяний? Р. В. Heads: Гнатчук Є.Г. Consultants: Opponents:	14201 (15.0%)	90 (16.0%)