

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія
Кондратюка»

(повне найменування вищого навчального закладу)

Навчально-науковий інститут інформаційних технологій та робототехніки

(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра автоматики, електроніки та телекомунікацій

(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи

бакалавр

(ступінь вищої освіти)

на тему Синтез системи інтелектуального керування зовнішнім
освітленням виробничої території ТОВ «ТАС ПОЛТАВВАГОН»

Виконав: студент 2 курсу, групи 201-
пМЕ2 спеціальності 141

«Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Безботченко Д.Р.

(прізвище та ініціали)

Керівник Леві Л.І.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Галай В.М.

(прізвище та ініціали)

Полтава – 2025 р.

Національний університет «Полтавська політехніка Імені Юрія
Кондратюка»
Інститут Навчально-науковий інститут інформаційних технологій та
робототехніки
Кафедра Автоматики, електроніки та телекомунікацій
Ступінь вищої освіти Бакалавр
Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри автоматки,
електроніки та телекомунікацій



О.В. Шефер

«01» квітня 2025 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА СТУДЕНТУ

Безботченку Данилу Романовичу

- 1 Тема роботи «Синтез системи інтелектуального керування зовнішнім освітленням виробничої території ТОВ «Полтаввагон»»
Керівник роботи Леві Леонід Ісаакович, проф., д.т.н.
затверджена наказом вищого навчального закладу від 03.03.2025 року
№ 306/1 – ф.а.
- 2 Строк подання студентом проекту 10.06.2025 року.
- 3 Вихідні дані до проекту (роботи) Документація на електрообладнання зовнішньої території. Документація прилади, що використовуються на підприємстві. Номінальна напруга 380/220В, частота 50 Гц. Забезпечити надійне зовнішнє освітлення з мінімальними капіталовкладеннями.
- 4 Зміст розрахунково – пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Аналіз існуючих систем освітлення, розробка структури та алгоритму інтелектуальної системи керування, можливості інтеграції, критерії оцінки ефективності, енергетичні розрахунки, обґрунтування вибору обладнання, моделювання роботи системи, оцінка енергоефективності різних сценаріїв, визначення основних параметрів освітлення, висновки.
- 5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

- 1) Аналіз існуючих систем освітлення виробничої території.
- 2) Схема системи комутації двох рівней освітлення
- 3) Алгоритм роботи інтелектуальної системи керування зовнішнім освітленням.
- 4) Структурна схема запропонованої інтелектуальної системи керування освітленням.
- 5) Функціональна схема роботи реле
- 6) Схема датчику руху
- 7) Висновки щодо ефективності розробленої системи.

6 Дата видачі завдання 01.04.2025 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор. №	Назва етапів бакалаврської роботи	Термін виконання Етапів роботи			Примітка (плакати)
		Дата	Курс	Відсоток	
1	<u>Аналіз існуючих систем освітлення, розробка структури та алгоритму інтелектуальної системи керування</u>	22.04.25	I	20%	Пл. 1
2	<u>Дослідження компонентів системи та їх обґрунтування</u>	08.05.25		40%	Пл. 2,3
3	<u>Визначення основних параметрів освітлення</u>	22.05.25	II	60%	Пл. 4,5
4	<u>Моделювання роботи системи, оцінка енергоефективності різних сценаріїв, Висновки</u>	30.05.25		80%	Пл. 6,7
5	<u>Оформлення кваліфікаційної роботи бакалавра</u>	10.06.25	II I	100%	Пл. 8

Студент


(підпис)

Керівник роботи


(підпис)

Безботченко Д.Р.
(прізвище та ініціали)

ЛЄВІ Л.І.
(прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ ОСВІТЛЕННЯ ВИРОБНИЧОЇ ТЕРИТОРІЇ	11
1.1 Традиційні та сучасні системи освітлення зовнішньої території	11
1.2 Автоматизовані системи керування освітленням зовнішньої території	13
1.3 Проблеми існуючих рішень та необхідність інтелектуального керування освітленням	16
1.4 Висновки	21
2. РОЗРОБЛЕННЯ СТРУКТУРИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ОСВІТЛЕННЯМ	23
2.1 Вибір архітектури системи керування освітленням виробничої території	23
2.2. Використовувані технології контролера.....	27
2.3 Розробка алгоритму керування зовнішнім освітленням виробничої території	30
2.4. Інтеграція з іншими системами управління.....	35
2.5. Оцінка ефективності запропонованої системи керування.....	37
2.6 Висновки	39
3. МОДЕЛЮВАННЯ ТА РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ ОСВІТЛЕННЯ ВИРОБНИЧОЇ ТЕРИТОРІЇ	43
3.1 Енергетичні розрахунки зовнішнього освітлення	43
3.2 Вибір обладнання для керування зовнішнім освітленням	48
3.3 Програмне моделювання роботи системи зовнішнього освітлення.....	58
3.4 Оцінка впливу різних сценаріїв освітлення на енергетичну ефективність системи освітлення.....	62
3.5 Висновки	63
ВИСНОВКИ	65
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	67
ДОДАТКИ	70
ДОДАТОК А 1. ANALYSIS OF EXISTING INDUSTRIAL OUTDOOR LIGHTING SYSTEMS	71
ДОДАТОК Б ГРАФІЧНІ МАТЕРІАЛИ ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ БАКАЛАВРА.....	82
ДОДАТОК В Код до контролеру «Arduino R3».....	89

ВСТУП

Сучасні виробничі підприємства потребують ефективних рішень для оптимізації енергоспоживання та підвищення безпеки на своїй території. Одним із ключових аспектів інфраструктури підприємства є зовнішнє освітлення, яке має забезпечувати належну видимість, знижуючи при цьому витрати на електроенергію. Традиційні системи освітлення часто не враховують змінні умови навколишнього середовища, що призводить до надмірного енергоспоживання або недостатнього рівня освітлення.

У зв'язку з розвитком технологій штучного інтелекту, інтернету речей (IoT) та автоматизованих систем управління з'являється можливість створення інтелектуальних систем керування зовнішнім освітленням. Такі системи можуть адаптивно змінювати режими роботи освітлювальних пристроїв відповідно до поточних умов, таких як рівень природного освітлення, погодні умови, присутність персоналу чи транспортних засобів.

Використання інтелектуальних систем керування освітленням дозволяє не лише економити електроенергію, а й підвищувати рівень безпеки на виробничих територіях. Автоматизовані рішення дають змогу уникати неефективного використання ресурсів, водночас створюючи комфортні умови для роботи персоналу в темний час доби. Крім того, сучасні інтелектуальні системи можуть інтегруватися з іншими цифровими рішеннями підприємства, такими як системи відеоспостереження, контролю доступу та екологічного моніторингу.

Науково-технічний прогрес і світові тенденції в галузі енергоефективності стимулюють підприємства до впровадження розумних технологій, які здатні не лише знижувати витрати, а й сприяти екологічній сталості. У контексті глобальних змін клімату та

необхідності скорочення викидів CO₂, оптимізація енергоспоживання стає важливим пріоритетом для багатьох компаній. Впровадження інтелектуальних систем освітлення відповідає концепції "розумного підприємства" та є частиною загального процесу цифрової трансформації промисловості.

Однією з важливих характеристик сучасних інтелектуальних систем є їх здатність до самонавчання та адаптації. Використовуючи алгоритми машинного навчання та аналізу великих даних, такі системи можуть покращувати ефективність роботи у процесі експлуатації. Це дозволяє не тільки знижувати витрати, але й прогнозувати необхідність технічного обслуговування, що значно підвищує надійність всієї системи освітлення.

Інтеграція таких систем у виробничу інфраструктуру потребує врахування різних аспектів, зокрема сумісності з існуючим обладнанням, можливостей віддаленого керування та гнучкості у зміні параметрів роботи. Важливим фактором також є економічна доцільність впровадження подібних рішень, оскільки необхідно досягти балансу між початковими інвестиціями та майбутньою економією ресурсів.

Таким чином, розробка інтелектуальної системи керування зовнішнім освітленням є актуальним та важливим завданням, яке сприяє підвищенню ефективності підприємств та їхньої конкурентоспроможності. Застосування сучасних підходів до автоматизації та використання інтелектуальних алгоритмів дає змогу створювати високоефективні енергозберігаючі рішення, що відповідають сучасним вимогам до управління промисловими об'єктами.

Запропонована система є перспективним кроком до створення автономних, саморегульованих систем освітлення, які можуть динамічно адаптуватися до змінних умов та забезпечувати максимальну ефективність використання енергоресурсів. Її впровадження сприятиме

значному зниженню витрат на електроенергію, підвищенню рівня безпеки на виробничих територіях та створенню сприятливих умов для роботи персоналу. На додаток до технологічних переваг, варто зазначити, що впровадження інтелектуальних систем освітлення може також мати значний економічний та екологічний ефект. Використання енергоефективних джерел світла в поєднанні з адаптивними алгоритмами керування дозволяє зменшити витрати на електроенергію та скоротити експлуатаційні витрати підприємства. Крім того, автоматизовані системи можуть знижувати навантаження на електромережу, що є важливим фактором для підприємств із високим рівнем енергоспоживання.

Важливим фактором у розробці таких систем є їхня надійність і здатність до масштабування. Враховуючи динамічний розвиток виробничих підприємств, система освітлення має легко адаптуватися до змін у плануванні території, нових виробничих потреб та оновлень обладнання. Впровадження гнучких архітектурних рішень, зокрема хмарних платформ і розподілених обчислень, дозволить забезпечити високу ефективність управління навіть у великих промислових комплексах.

Таким чином, розробка інтелектуальної системи керування зовнішнім освітленням виробничої території є стратегічним рішенням, що поєднує в собі технологічні інновації, економічну доцільність та підвищення рівня енергоефективності. Це не лише сприяє оптимізації ресурсів, а й дозволяє підприємствам відповідати сучасним вимогам сталого розвитку та цифрової трансформації.

1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ ОСВІТЛЕННЯ ВИРОБНИЧОЇ ТЕРИТОРІЇ

1.1 Традиційні та сучасні системи освітлення зовнішньої території

Одним з головних завдань, які стоїть перед кожним підприємством, що має власні виробничі площадки – надати достатнє освітлення виробничих територій. Це максимально знизить ризики виникнення аварій, поліпшить умови праці персоналу та відобразиться на продуктивності, а також стане аргументом при оцінці функціонування підприємства в цілому. Через це, особливу увагу слід звернути на питання стабільності освітленості. Окрім того, велике значення має і його розподіл на різній ділянці підприємства, враховуючи що в деяких підприємствах освітлені виробничі приміщення тільки вранці або ввечері, а іноді освітлення взагалі відсутнє.

Традиційно для зовнішнього освітлення використовували газорозрядні лампи — натрієві, ртутні та металогалогенні. Вони характеризуються високою потужністю, здатністю працювати в складних погодних умовах і порівняно довгим терміном служби. Наприклад, натрієві лампи забезпечують високу світлову віддачу, проте мають обмежений спектр випромінювання — з переважанням жовтогарячого кольору, що негативно впливає на якість кольоропередачі. Металогалогенні лампи покращують цей параметр, проте поступаються у довговічності. Ртутні джерела світла нині майже виведені з експлуатації через низьку енергоефективність та екологічну загрозу, пов'язану з наявністю токсичних речовин.

Головний недолік традиційних ламп — високе енергоспоживання. Значна частина споживаної електроенергії витрачається на нагрів, а не на

світлову продуктивність. Також ускладнюється обслуговування через потребу у баластах і спеціальних схемах запуску. Високі експлуатаційні витрати й екологічна небезпека обумовлюють поступову відмову від газорозрядних технологій на користь більш ефективних рішень.

Останніми роками широкого поширення набули світлодіодні (LED) технології. Вони мають безліч переваг — високу світлову віддачу, низьке споживання енергії, тривалий термін служби (до 100 000 годин) і екологічну безпеку. Важливою перевагою світлодіодів є можливість вибору колірної температури освітлення — від теплого до холодного білого, що дозволяє адаптувати освітлення до різних умов експлуатації.



Рис. 1.1 - Плата розробника Arduino UNO R3

Крім того, LED-освітлення легко інтегрується з інтелектуальними системами керування, що дозволяє підвищити рівень автоматизації та енергоефективності. Наприклад, за допомогою мікроконтролерів **Arduino UNO R3**, можна реалізувати інтелектуальне керування освітленням з урахуванням сценаріїв увімкнення, контролю за станом датчиків руху та освітленості.

Arduino UNO R3 здатна зчитувати сигнали від аналогових та цифрових сенсорів у реальному часі й керувати реле освітлення відповідно до попередньо запрограмованої логіки. За потреби, систему

можна розширити модулями бездротового зв'язку (наприклад, ESP8266 чи Bluetooth-модулями), що дозволить організувати базовий віддалений моніторинг або оновлення налаштувань.

Завдяки цьому світлодіодне освітлення в поєднанні з автоматизованими системами на базі **Arduino Uno R3** забезпечує зменшення енергоспоживання, зниження експлуатаційних витрат і підвищення рівня безпеки на території підприємства.

Особлива увага приділяється адаптивному освітленню. Це освітлення автоматично змінює рівні яскравості залежно від інтенсивності руху та погодних умов. Наприклад, у нічний час при відсутності активності на території система зменшує яскравість до мінімального рівня або переводить світильники в режим очікування, а при виявленні руху відновлює повну яскравість. Такий підхід дозволяє знизити енерговитрати до 60–80 % в порівнянні зі звичайним постійним освітленням.

Також варто зазначити, що сучасні світлодіодні світильники мають розширені можливості інтеграції з **мережевими протоколами** — як провідними (Modbus, KNX), так і бездротовими (Zigbee, Wi-Fi, Bluetooth, LoRa). Завдяки цьому їх можна включати до складу великих автоматизованих систем керування типу «розумне підприємство» (Smart Factory) або «розумне місто» (Smart City). Використання відкритих стандартів спрощує масштабування та централізоване адміністрування, що особливо актуально для великих виробничих або логістичних об'єктів.

1.2 Автоматизовані системи керування освітленням зовнішньої території

Інтелектуальні системи керування освітленням є ключовим компонентом для досягнення енергоефективності на виробничих

об'єктах. Їх основне завдання — адаптація інтенсивності освітлення до змін умов середовища, часу доби та активності на території. Завдяки розвитку недорогих обчислювальних платформ, таких як UNO R3, стало можливим створення високофункціональних систем з низьким енергоспоживанням і розширеними можливостями підключення.

Одним із базових елементів таких систем є **датчики освітленості**, наприклад LDR (Light Dependent Resistor), які змінюють свій опір залежно від інтенсивності навколишнього світла. Підключивши LDR до UNO R3, можна визначати рівень природного освітлення та приймати рішення щодо вмикання або вимкнення світильників. Наприклад, при зменшенні природного світла нижче заданого порогу UNO R3 активує зовнішнє освітлення.



Рис. 1.2 - Датчик освітленості LDR (Light Dependent Resistor)

Для зниження енергоспоживання доцільно також використовувати **датчики руху**, такі як PIR (Passive Infrared Sensor). Вони реагують на присутність людини або рухомих об'єктів, фіксуючи зміни інфрачервоного випромінювання. Після виявлення руху мікроконтролер UNO R3 миттєво активує світильники, а після завершення активності — вимикає їх або знижує яскравість. Це дозволяє економити електроенергію без втрати рівня безпеки.

Комбіновані датчики, такі як **HC-SR501** із додатковим **LDR**, дозволяють створювати ще гнучкіші системи: вони враховують як рух, так і рівень освітленості. UNO R3, обробляючи дані з обох сенсорів, може приймати складні рішення, наприклад: "Увімкнути світло лише при русі у темний час доби".



Рис. 1.3 - Датчик руху PIR HC-SR501 (Passive Infrared Sensor)

Окрім сенсорних механізмів, UNO R3 підтримує **роботу за графіками**. Завдяки вбудованому таймеру та можливості підключення до мережі NTP (Network Time Protocol), пристрій може виконувати команди за встановленим розкладом — вмикати або вимикати освітлення у певні години. Це особливо актуально для об'єктів із фіксованими режимами роботи.

UNO R3 також дозволяє створювати **інтерфейси віддаленого керування**, наприклад, через мобільні додатки або вебінтерфейси. Завдяки вбудованому Wi-Fi модулю, користувачі можуть отримувати дані про поточний стан системи, отримувати сповіщення або вручну керувати освітленням.

Таким чином, мікроконтролер UNO R3 забезпечує високий рівень інтеграції, гнучкість та масштабованість систем управління освітленням. Це використання може значно зменшити витрати на електроенергію,

спростити технічне обслуговування та підвищити функціональність зовнішнього освітлення на промислових територіях.

Сучасні мікроконтролери, такі як Arduino UNO R3, дозволяють реалізовувати **локальну обробку даних (edge computing)** без потреби постійного підключення до хмари. Це забезпечує швидку реакцію системи, зниження затримок та підвищену надійність в умовах обмеженого доступу до Інтернету. Такий підхід також сприяє підвищенню інформаційної безпеки, оскільки обробка та зберігання критичних даних відбувається локально, без передачі у зовнішні системи.

Крім цього, використання UNO R3 відкриває можливості для впровадження **енергетичного моніторингу** в реальному часі. До пристрою можна підключати датчики струму або напруги, що дозволяє вимірювати фактичне споживання електроенергії світильниками, виявляти нештатну роботу або перевантаження в мережі. Зібрані дані можуть бути збережені на SD-карті або передані на віддалений сервер для подальшого аналізу, оптимізації графіків освітлення та підвищення загальної енергоефективності системи.

1.3 Проблеми існуючих рішень та необхідність інтелектуального керування освітленням

Сучасні системи зовнішнього освітлення, хоча й забезпечують основні функції — висвітлення територій та забезпечення безпеки — мають суттєві недоліки, що призводять до високих витрат на енергоспоживання, недостатньої ефективності в управлінні ресурсами та навіть до підвищення ризику аварійних ситуацій. Більшість традиційних рішень обмежуються механічними або простими електронними системами, які не враховують змінні умови навколишнього середовища або людську активність. Це призводить до надмірного споживання

електроенергії, що в свою чергу збільшує витрати на експлуатацію та погіршує екологічний вплив.

Проблеми традиційних систем освітлення

Низька енергоефективність. Традиційні системи освітлення часто працюють за принципом постійного увімкнення вуличних ліхтарів, незалежно від рівня природного освітлення чи присутності людей. Такий підхід призводить до надмірного споживання електроенергії, особливо в денний час або за поганих погодних умов, коли природного освітлення цілком достатньо для освітлення території. Наприклад, на великих виробничих територіях або в паркових зонах освітлення може залишатися включеним навіть за відсутності руху чи коли на небі є яскраве сонце.

Відсутність адаптації до змін навколишнього середовища. Традиційні системи не можуть враховувати такі зміни, як коливання рівня природного освітлення залежно від часу доби, погодних умов або пори року. Внаслідок цього освітлення може бути надмірним або, навпаки, недостатнім у певні періоди. Це також може впливати на безпеку, адже на території можуть залишатися темні ділянки, де не вистачає світла.

Високі експлуатаційні витрати. Багато традиційних систем освітлення не мають можливості самостійно налаштовувати рівень освітлення в залежності від реальних умов, що вимагає ручного регулювання або заміни ламп, коли вони виходять з ладу. Такий підхід збільшує витрати на обслуговування та потребує частих перевірок системи.

Обмежена автоматизація. Більшість традиційних систем освітлення працюють за схемами, де включення та вимикання освітлення здійснюються за фіксованим розкладом або в ручному режимі. Це не дозволяє ефективно реагувати на зміни в умовах навколишнього

середовища чи людську активність, що створює додаткові труднощі у забезпеченні надійності та безпеки освітлення.

Як наслідок необхідне інтелектуальне керування освітленням

Для подолання цих проблем і підвищення ефективності зовнішнього освітлення, існує необхідність у інтелектуальному керуванні. Ідея інтелектуальних систем освітлення полягає в тому, щоб зробити систему більш гнучкою та адаптивною до умов, що змінюються, з одночасним підвищенням енергоефективності та безпеки.

Адаптивність до змін навколишнього середовища. Інтелектуальна система освітлення здатна аналізувати рівень природного освітлення, погодні умови та час доби, що дозволяє автоматично налаштовувати інтенсивність штучного освітлення відповідно до реальних умов. Це дає можливість знизити енергоспоживання в періоди, коли природного освітлення достатньо, або за рахунок підвищення яскравості в умовах поганої видимості.

Економія енергії. Використання датчиків руху та датчиків освітленості, які автоматично вмикають освітлення тільки за потреби, дає змогу значно знижувати витрати на електроенергію. Наприклад, система може вимикати освітлення на тих ділянках, де немає руху, і включати його лише в разі необхідності. Це дозволяє максимально ефективно використовувати енергетичні ресурси, що особливо важливо для великих промислових територій.

Забезпечення безпеки та комфорту. Інтелектуальні системи можуть бути налаштовані на забезпечення високого рівня безпеки на території шляхом забезпечення належної видимості в зонах підвищеного ризику, наприклад, на переходах або в районах з інтенсивним рухом. Автоматичне включення освітлення при виявленні руху або при зниженні

рівня освітленості вночі дозволяє створити комфортні умови для людей, що перебувають на території.

Мінімізація обслуговування та витрат. Інтелектуальні системи освітлення, як правило, мають можливість самодіагностики, що дозволяє виявляти несправності або проблеми в роботі системи без необхідності регулярних перевірок. Такі системи також можуть автоматично налаштовувати освітлення в залежності від часу доби або зміни погодних умов, що значно зменшує потребу в ручному регулюванні. У результаті зменшуються витрати на обслуговування та підвищується надійність системи.

Можливість інтеграції з іншими системами. Інтелектуальні системи освітлення можуть бути інтегровані з іншими автоматизованими системами управління на підприємствах, такими як системи безпеки або енергетичного моніторингу. Це дозволяє забезпечити комплексне управління територією, знижуючи витрати на інфраструктуру та підвищуючи загальну ефективність.

Таким чином, інтелектуальні системи керування освітленням є необхідною умовою для оптимізації витрат на електроенергію, підвищення безпеки та забезпечення комфортних умов на виробничих територіях. Вони дозволяють автоматично адаптувати освітлення до змінних умов, знижувати енергоспоживання та мінімізувати експлуатаційні витрати, що є важливими перевагами у порівнянні з традиційними системами освітлення.

Ще одним важливим аспектом традиційних систем освітлення є їхня залежність від застарілих джерел світла, таких як ртутні та натрієві лампи. Такі джерела мають обмежений термін служби, низьку світлову віддачу та значне споживання енергії. Крім того, їх утилізація потребує

додаткових витрат і може створювати екологічні ризики через наявність токсичних речовин.

Також традиційні системи часто мають централізоване управління, що ускладнює їх модернізацію та адаптацію до конкретних умов експлуатації. Відсутність можливості дистанційного контролю та діагностики призводить до необхідності частих перевірок, що підвищує витрати на обслуговування.

Розвиток інтелектуальних систем освітлення дозволяє вирішити ці проблеми шляхом використання світлодіодних технологій, які відрізняються високою ефективністю, довговічністю та екологічною безпекою. Інтеграція таких систем із технологіями інтернету речей (IoT) і штучного інтелекту (AI) дозволяє не лише оптимізувати енергоспоживання, а й забезпечити аналіз даних у реальному часі для подальшого вдосконалення алгоритмів керування освітленням.

Таким чином, впровадження сучасних систем керування освітленням відкриває нові можливості для підвищення енергоефективності, зниження експлуатаційних витрат та підвищення рівня автоматизації промислових об'єктів.

Ще одним недоліком є відсутність механізмів прогнозування несправностей. Застарілі системи не можуть завчасно попередити про можливі відмови ламп чи пошкодження електромережі, що може призвести до раптового зниження рівня освітлення та необхідності термінового ремонту. Це особливо критично для промислових об'єктів, де відсутність належного освітлення може вплинути на безпеку працівників та працездатність обладнання.

Сучасні інтелектуальні системи освітлення вирішують ці проблеми за рахунок гнучкого зонального управління та використання прогнозної аналітики. Завдяки алгоритмам машинного навчання вони можуть

виявляти закономірності у використанні світла та оптимізувати режими роботи відповідно до реальних потреб. Це не лише зменшує витрати на електроенергію, а й сприяє зменшенню зносу обладнання та збільшенню його терміну експлуатації.

Ще однією важливою проблемою традиційних систем освітлення є відсутність масштабованості. При зростанні площі території або збільшенні кількості світлоточок система потребує повної реконфігурації або заміни обладнання, що супроводжується значними фінансовими та часовими витратами. Інтелектуальні ж системи дозволяють гнучко масштабувати інфраструктуру без суттєвих змін в архітектурі, завдяки використанню модульних підходів та бездротових технологій зв'язку.

Крім того, традиційні системи не дозволяють здійснювати детальний облік енергоспоживання на рівні окремих ділянок або світильників. Це ускладнює проведення енергетичного аудиту та впровадження заходів з підвищення ефективності. Натомість інтелектуальні системи освітлення надають можливість точного моніторингу та збору статистичних даних у реальному часі, що дозволяє оперативно виявляти неефективні зони та приймати обґрунтовані управлінські рішення.

1.4 Висновки

Аналіз існуючих систем зовнішнього освітлення виробничих територій виявив їхні основні недоліки: фіксовані графіки роботи, неефективне споживання енергії та відсутність автоматичного реагування на зміну умов навколишнього середовища. Це призводить до значних витрат на електроенергію, збільшення експлуатаційних витрат і негативного екологічного впливу.

Рішенням цих проблем є інтелектуальні системи керування освітленням, що використовують датчики освітленості, руху та

програмовані алгоритми для автоматичного регулювання яскравості світильників. Такі системи дозволяють зменшити енергоспоживання, підвищити безпеку та оптимізувати обслуговування.

Додатковою перевагою є можливість інтеграції з іншими автоматизованими системами підприємства та використання алгоритмів машинного навчання для ще більш точного управління освітленням. Це забезпечує не лише економічну вигоду, а й екологічну ефективність, сприяючи зменшенню викидів CO₂ та впровадженню "зелених" технологій. Впровадження таких систем є необхідним кроком для модернізації освітлення на промислових об'єктах.

2. РОЗРОБЛЕННЯ СТРУКТУРИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ОСВІТЛЕННЯМ

2.1 Вибір архітектури системи керування освітленням виробничої території

У рамках даного проєкту було поставлено практичне завдання: розробити систему освітлення для нової виробничої території на підприємстві ТОВ "ПОЛТАВВАГОН". Ця територія площею 2000 м² призначена для використання як відкритий склад заготовок, що висуває специфічні вимоги до безпеки, надійності та ефективності освітлення. Оскільки зона буде активно використовуватися для розвантажувально-навантажувальних робіт та пересування вантажної техніки, у тому числі в темний час доби, першочерговою задачею є забезпечення належного рівня освітленості відповідно до чинних державних будівельних норм (ДБН) [1].

Для вирішення цього завдання необхідно було виконати світлотехнічний розрахунок, обрати оптимальні освітлювальні прилади та їх розташування. Цей етап є фундаментальним, оскільки саме на основі спроектованої освітлювальної установки буде розроблятися подальша архітектура інтелектуальної системи керування, що дозволить автоматизувати роботу освітлення та оптимізувати витрати на електроенергію.

Для ефективної організації зовнішнього освітлення виробничої території складу заготовок площею 2000 м² важливо врахувати нормативні вимоги щодо освітленості, а також специфіку функціонального призначення цієї зони. Відповідно до ДБН, для забезпечення безпечної роботи та комфортних умов на території повинна

бути досягнута мінімальна освітленість у 50 лк. Це особливо актуально для місць, де здійснюються розвантажувально-навантажувальні операції та пересування вантажної техніки.

Для розрахунку параметрів освітлення було використано програмне забезпечення DIALux, яке є стандартом у проєктуванні освітлювальних систем. Моделювання дозволило проаналізувати розподіл світла та рівень освітленості по всій території з урахуванням різних варіантів джерел світла, їх потужності та розміщення.

Результати моделювання показали, що для досягнення нормативного рівня освітленості (не менше 50 лк у середньому) необхідно використовувати прожектори зі світловим потоком приблизно 36 000 лм кожен. При цьому оптимальним є використання шести прожекторів, розташованих по периметру території з кутом нахилу близько 40°, що забезпечує рівномірне покриття площі.

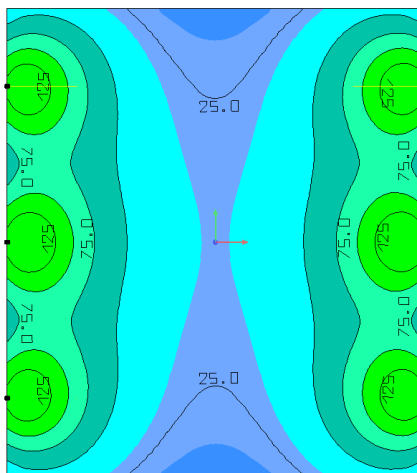


Рис 2.1 - Ізолінії освітлення

На ілюстрації (рисунок 2.1) представлено ізолінії освітленості, отримані за результатами моделювання в DIALux, які наочно демонструють розподіл освітленості та покриття території.

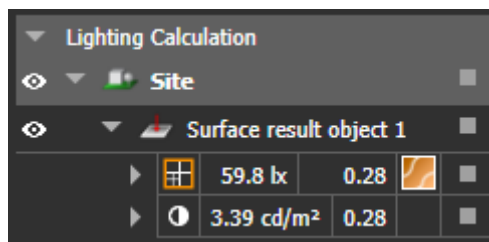


Рис 2.2 - Розрахована освітленість території DIALux

Також на рисунку 2.2 показано розраховану середню освітленість, яка перевищує нормативний поріг.

Альтернативні варіанти освітлення, такі як використання менш потужних джерел світла або світильників іншого типу, за умовами моделювання не дозволяють забезпечити необхідний рівень освітленості, що робить їх неприйнятними для цього проєкту. Отже, виходячи з технічних та функціональних вимог, основне освітлення повинне базуватися на потужних прожекторах із високим світловим потоком.

Для забезпечення безпеки та ефективного відеоспостереження у нічний час, а також для підтримання базового рівня освітленості, передбачається впровадження чергового освітлення з меншою потужністю і більш економічним споживанням електроенергії. Це дозволить підтримувати мінімальний рівень світла протягом всієї темної доби без значних витрат.

Враховуючи, що освітлення складається з двох рівнів — основного та чергового — система керування має передбачати їх автономне та взаємозалежне функціонування. Для цього необхідно використовувати надійні пристрої комутації, які можуть оперативно і безшумно перемикати живлення між різними групами світильників. За результатами технічного аналізу, доцільним є застосування твердотільних реле, які мають переваги у вигляді відсутності механічного

знос контактів, високої швидкості переключення та можливості керування від низьковольтних сигналів.



Рис 2.3 - Схема системи комутації двох рівнів освітлення

На рисунку 2.3 наведено схему потенційної системи комутації, яка демонструє принцип роботи з двома рівнями освітлення та використанням твердотільних реле. Параметри реле підбираються відповідно до робочих струмів та напруг освітлювальних пристроїв. Аналіз альтернативних типів реле, включно з популярними моделями на ринку, покаже оптимальні варіанти, які будуть детально розглянуті у наступному розділі.

Таким чином, на основі моделювання в DIALux та технічного аналізу встановлено, що для досягнення нормативних вимог до освітленості виробничої території необхідно застосовувати високопродуктивні прожектори у кількості не менше шести одиниць та забезпечити наявність

двоступеневої системи освітлення з відповідною системою комутації. Остаточний вибір конкретних моделей світильників, реле та контролерів буде проведено в розділі 3, де детально розглянуті технічні характеристики, сумісність та економічна доцільність.

2.2. Використовувані технології контролера

Для реалізації інтелектуальної системи керування зовнішнім освітленням виробничої території обрано мікроконтролер UNO R3, як ядро кожного локального модуля управління. Цей контролер поєднує в собі потужні обчислювальні ресурси, широкі комунікаційні можливості та підтримку численних периферійних інтерфейсів, що робить його ідеальним рішенням для промислових застосунків у сфері автоматизації освітлення.

Таблиця 2.1 — Характеристики контролера Arduino UNO R3

Основні характеристики UNO R3	
Характеристика	Значення
Центральний процесор	ATmega328P, 8-бітний AVR, 16 МГц
Оперативна пам'ять (RAM)	2 КБ

Пос тійн а пам' ять (Fla sh)	32 КБ
Інте рфе йси	GPIO, ADC (6 каналів), I2C, SPI, UART, PWM (6 каналів)
Безд рото вий зв'яз ок	(потрібен зовнішній модуль)
Роб оча нап руга	5 В
Роб оча тем пера тура	-40°C до +85°C (залежно від корпусу)

У запропонованій інтелектуальній системі керування зовнішнім освітленням виробничої території використовується мікроконтролер Arduino Uno R3 як основний обчислювальний модуль. Цей контролер було обрано завдяки ряду важливих переваг:

- Велика кількість цифрових та аналогових входів/виходів, що забезпечує підключення зовнішніх виконавчих елементів, зокрема реле;
- Широка підтримка в середовищі розробки Arduino IDE, що спрощує програмування та налагодження системи;
- Низька вартість та велика спільнота користувачів;

- Можливість підключення додаткових модулів, наприклад, датчиків освітленості, руху, а також модулів реального часу (RTC) типу DS3231;
- Здатність працювати в автономному режимі з невеликим енергоспоживанням завдяки простій апаратній архітектурі.

Фізичне підключення до виконавчих пристроїв

Arduino Uno R3 не може безпосередньо комутувати силове навантаження [3], тому в системі використовується твердотільне реле (SSR), що підключається до одного з цифрових виходів Arduino. Для живлення мікроконтролера застосовується стабілізоване джерело 5 В постійного струму, наприклад, імпульсний блок живлення 5В/2А.

Схема з'єднань передбачає:

- Живлення Arduino через USB або стабілізоване джерело 5 В;
- Керування SSR-реле через цифровий вихід Arduino, що подає логічний сигнал (HIGH/LOW) для вмикання або вимикання основного освітлення;
- Використання датчика освітленості або модуля реального часу DS3231 для перемикання між черговим та основним режимами освітлення.

Взаємодія з сенсорами та логіка керування

Контролер може бути розширений за допомогою таких модулів:

- Датчик освітленості BH1750 або аналогічний, який дозволяє в автоматичному режимі визначити початок сутінок і активувати чергове освітлення;

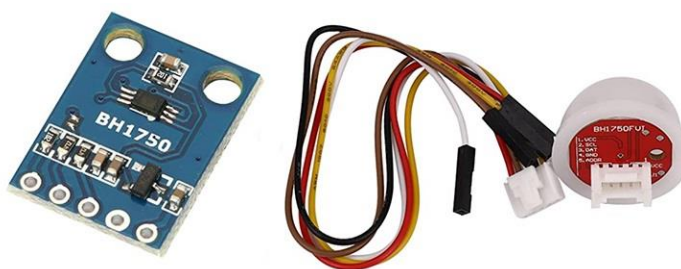


Рис 2.4 - Датчик освітленості BH1750

- Датчик руху (PIR або інфрачервоний) — у разі потреби активації основного освітлення при виявленні активності;
- RTC-модуль DS3231, що дозволяє створити фіксовані графіки вмикання/вимикання освітлення без підключення до мережі.

Логічна структура системи

Програмне забезпечення Uno R3 реалізовано з використанням платформи Arduino. Основні функції прошивки:

- Контроль часу або рівня освітленості;
- Увімкнення/вимкнення реле за заданим сценарієм;
- Можливість ручного керування через мобільний застосунок або веб-інтерфейс (наприклад, через ESPAsyncWebServer або Blynk);
- Журналювання подій або логування до microSD/через MQTT/HTTP (опціонально).

Завдяки застосуванню Arduino UNO R3 система залишається модульною, масштабованою та енергоефективною, з можливістю інтеграції як у локальну, так і в віддалену систему моніторингу, підтримкою сценаріїв автоматизації та оптимальним співвідношенням ціна/функціональність. Такий вибір технологій дозволяє ефективно вирішити завдання керування зовнішнім освітленням території площею 2000 м² в умовах промислового об'єкта.

2.3 Розробка алгоритму керування зовнішнім освітленням виробничої території

З метою забезпечення енергоефективної та безпечної роботи зовнішнього освітлення на території зони складу заготовок розроблено алгоритм, що

реалізує автоматизоване керування за комбінацією умов: рівень природної освітленості, наявність руху та час доби.

Мета алгоритму:

- Забезпечити **мінімально допустимий рівень освітлення** (не нижче 50 лк) відповідно до вимог охорони праці для зовнішніх робочих зон.
- Мінімізувати **споживання електроенергії** шляхом використання чергового освітлення в якості базового режиму.
- **Автоматизувати** перемикання між черговим та основним освітленням відповідно до реальних умов експлуатації: активність персоналу, рівень освітлення, час доби.

Структура логіки роботи системи автоматизації освітлення:

1. Ініціалізація та перехід у нічний режим:
 - З настанням темного часу доби (визначається за рівнем освітленості або за встановленим розкладом) система переходить у нічний режим роботи.
 - Автоматично вмикається чергове освітлення (світильники потужністю 40 Вт), яке працює постійно протягом ночі, забезпечуючи базовий рівень видимості.
2. Постійний моніторинг контролером UNO R3:
 - Контролер UNO R3 безперервно відстежує два ключові параметри:
 - Рівень зовнішнього освітлення: за допомогою датчика (наприклад, BH1750), щоб визначити, чи достатньо темно для активації освітлення.
 - Наявність руху: за допомогою PIR- абоToF-датчика в контрольованій зоні.

3. Логіка активації основного освітлення:

- Якщо рівень зовнішнього освітлення нижчий встановленого порогу (наприклад, < 50 лк):
 - Система перевіряє наявність людини (руху) поблизу.
 - Якщо людина (рух) виявлена:
 - Вмикається основне освітлення: шість прожекторів сумарною потужністю 1800 Вт, забезпечуючи високий рівень освітленості.
 - Комутація основного освітлення здійснюється через напівпровідникове реле, розраховане на відповідну потужність навантаження.
 - Система починає відлік часу (таймер) з моменту вмикання основного освітлення.
 - Якщо людина (рух) не виявлена:
 - Основне освітлення залишається вимкненим, продовжує працювати лише чергове освітлення.

4. Логіка підтримки та вимкнення основного освітлення:

- Після вмикання основного освітлення:
 - Система відстежує рух людини.
 - Якщо протягом 10 хвилин з моменту вмикання основного освітлення рух людини продовжує фіксуватися:
 - Основне освітлення залишається ввімкненим. Таймер перезапускається з кожним новим виявленням руху.
 - Якщо протягом 10 хвилин (або іншого заданого таймауту, наприклад, 10–15 хв) рух не фіксується:
 - Основне освітлення автоматично вимикається.

- Система повертається в режим роботи з черговим освітленням.

5. Повне вимкнення системи:

- З підвищенням природного рівня освітленості вище заданого порогу або з настанням світлового дня, система повністю вимикає все освітлення (як основне, так і чергове) до настання наступного темного періоду доби.

Таким чином, запропонована логіка роботи системи автоматизації зовнішнього освітлення забезпечує енергоефективність, надійність та адаптивність до умов довкілля. Основне освітлення вмикається лише за недостатнього природного світла та наявності руху, що дозволяє значно зменшити споживання електроенергії, водночас підтримуючи належний рівень безпеки на виробничій території.

Діаграма логіки керування

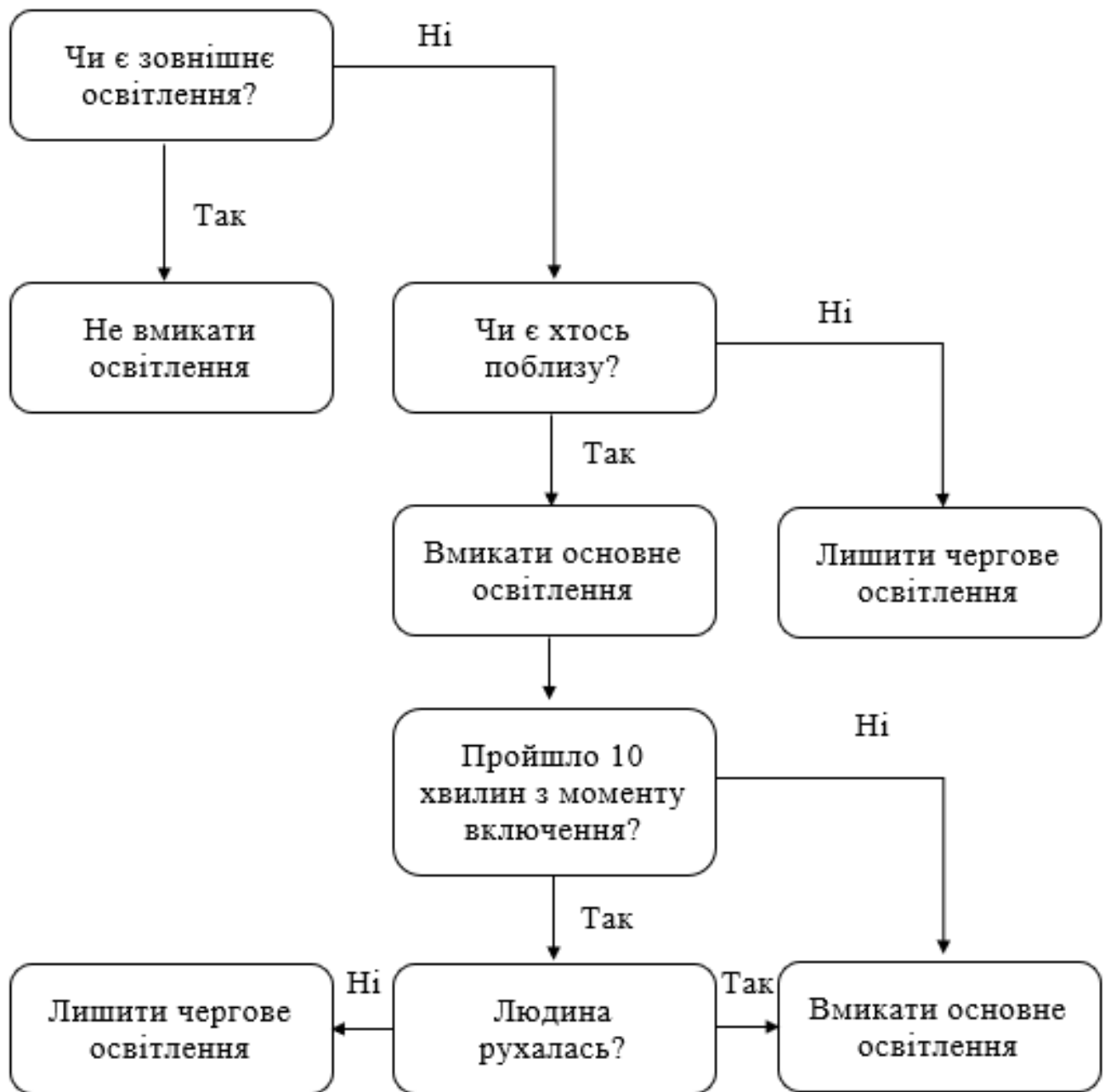


Рис 2.5 - Діаграма логіки керування

Запропонований алгоритм поєднує енергоефективність, адаптивність до умов навколишнього середовища та автоматизацію керування освітленням. Такий підхід дає змогу знизити навантаження на енергосистему, збільшити термін служби

світлотехнічного обладнання, водночас підтримуючи нормативний рівень освітленості для безпечної роботи в нічний час.

2.4. Інтеграція з іншими системами управління

Інтеграція інтелектуальної системи керування зовнішнім освітленням з іншими інформаційними або технологічними системами є важливою умовою для створення єдиної автоматизованої екосистеми підприємства. Завдяки цій інтеграції досягається не лише централізований контроль, а й обмін даними між різними службами: енергетиками, охороною, ІТ-відділом, адміністрацією.

Мета інтеграції:

- Забезпечити єдиний інтерфейс управління усіма технологічними процесами.
- Надати дані про енергоспоживання для аналітики та оптимізації.
- Підвищити безпеку території через обмін подіями між освітленням та системами відеоспостереження чи сигналізації.
- Дозволити віддалений моніторинг і конфігурування в рамках SCADA, BMS або MES систем.

Таблиця 2.2 — Потенційно інтегровані системи

Система	Напрямок інтеграції
SCADA	Візуалізація стану світильників, телеметрія
BMS (Building Management)	Загальний контроль інженерної інфраструктури
Система охоронної сигналізації	Автоматичне вмикання світла при тривозі
Система відеоспостереження	Підсвітка при активації камер або виявленні руху
ERP / MES	Аналітика споживання та статистика роботи обладнання

Протоколи і стандарти зв'язку

Для забезпечення сумісності систем доцільно використовувати відкриті протоколи зв'язку, наприклад:

- Modbus TCP/RTU — поширений в SCADA;
- MQTT — для IoT-комунікацій між пристроями;
- REST API — для зв'язку з веб-системами;
- BACnet, KNX — у разі інтеграції з BMS.

Контролер UNO R3, який ми використовуємо, може підтримувати MQTT, REST API, WebSocket, Modbus TCP завдяки відповідним бібліотекам, що дозволяє реалізувати гнучку інтеграцію.

Приклад сценарію інтеграції:

Ситуація: камера відеоспостереження зафіксувала рух у темний час доби на складі.

Послідовність дій:

1. Камера передає сигнал на центральний сервер або через MQTT-брокер.
2. Контролер UNO R3 отримує повідомлення про подію.
3. Система автоматично вмикає прожектори над відповідною ділянкою.
4. Одночасно лог події записується у SCADA або на сервер BMS.
5. При потребі — надсилається повідомлення охороні або технічному персоналу.

Візуальна схема інтеграції:

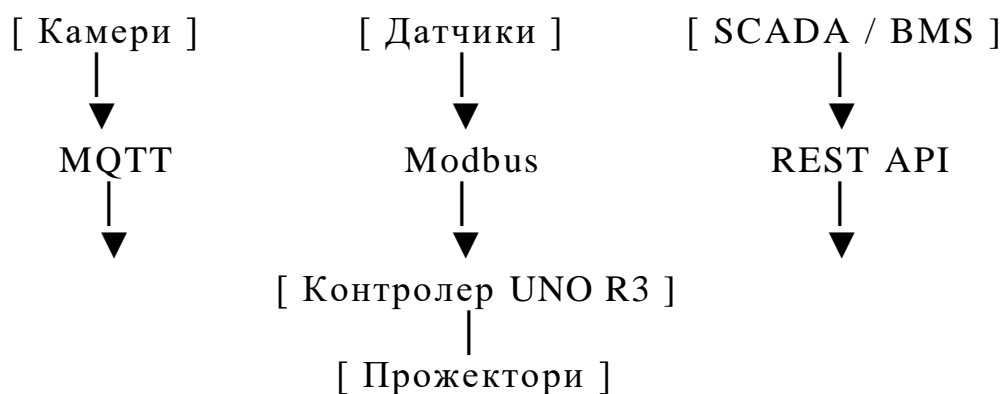


Рис 2.6 - Схема інтеграції з різними протоколами

Інтеграція розробленої системи керування освітленням з іншими автоматизованими системами виробничого об'єкта дозволяє значно підвищити ефективність експлуатації, знизити витрати на енергоспоживання та забезпечити більш комфортні та безпечні умови роботи.

2.5. Оцінка ефективності запропонованої системи керування

Запропонована система інтелектуального керування зовнішнім освітленням має на меті зниження енергоспоживання, автоматизацію процесів та підвищення зручності експлуатації. Для реалізації системи розглянуто низку доступних на ринку технічних рішень.

Система керування розрахована на дві групи освітлення:

- **Основне освітлення**, яке вмикається за умов недостатньої освітленості та наявності руху;
- **Чергове освітлення**, яке працює вночі постійно.

Для реалізації цієї логіки необхідно використати мікроконтролер, датчики освітленості й руху, а також твердотільні реле або аналогічні комутаційні пристрої. Нижче наведено перелік рекомендованого обладнання, яке **може бути використане** в системі. Остаточний вибір буде обґрунтований у розділі 3.

Таблиця 2.2 — Можливе обладнання для реалізації системи керування

Найменування	Тип / Модель	Основні характеристики
Прожектор основного освітлення	Horoz Electric Felis-300	300 Вт, 36000 лм, IP65
	ZUM F02-300 6400K	300 Вт, 27000 лм, 6500K, IP65
	MPE LED FLOOD LIGHT 5 300W	300 Вт, 6500K, 36000 лм, IP65
Світильник чергового освітлення	Horoz Electric TIGER-40 40W	40 Вт, IP65, 4000–6000 К
	Maxus LED Outdoor 40W	40 Вт, IP65, 4000–6000K
	Horoz Electric ASLAN-40 40W	40 Вт, IP65, 6400K
	Horoz Electric HL870L	40 Вт, IP65, 3600–4200 лм, 6500K
Мікроконтролер	ESPRESSIF ESP32 – DEVKIT V1	Wi-Fi, Bluetooth, 34 GPIO, підтримка FreeRTOS
	STM32F103C8T6	ARM Cortex-M3, UART/I ² C/SPI
	Arduino Uno R3	ATmega328P, 14 GPIO, UART, SPI, I ² C
	Arduino Mega 2560	54 GPIO, 4 UART, 256 КБ Flash, SPI, I ² C
Датчик освітленості	BH1750	I ² C, діапазон 1–65535 лк
	TSL2561	I ² C, діапазон 0,1–40 000 лк
Датчик руху	HC-SR501 PIR	Дальність до 7 м, кут виявлення 120°

Продовження таблиці 2.2

	AM312 Mini PIR	Компактний, дальність до 5 м
Твердотільне реле для основного світла	Carlo Gavazzi RM1A23D25	25 А, АС 230 В, керування DC 3–32 В
	Crydom D2425	25 А, 24–280 В АС, керування 3–32 ВDC
	Omron G3NA-225B	25 А, 75–264 В АС, керування 4–32 ВDC
Твердотільне реле для чергового світла	Fotek SSR-10DA	10 А, АС 24–380 В, керування DC 3–32 В
	Crydom D2410	10 А, 24–280 В АС, керування 3–32 ВDC
	Omron G3MB-202P	2 А, АС 240 В (для малопотужних навантажень)

На основі аналізу технічних характеристик сформовано перелік обладнання, що відповідає вимогам проєктованої системи. Кожна з позицій має кілька функціональних аналогів із подібними параметрами, що забезпечує гнучкість під час подальшого вибору та з урахуванням наявності на ринку, вартості та технічних умов. **Остаточний вибір конкретних моделей буде здійснено у розділі 3 на підставі технічного порівняння.**

2.6 Висновки

У цьому розділі було здійснено комплексне технічне обґрунтування та розроблено структуру інтелектуальної системи керування зовнішнім освітленням для виробничої території — зони складу заготовок загальною площею 2000 м². Основним завданням, яке вирішувалося під час розробки, стало створення енергоефективної, надійної та гнучкої системи освітлення, що здатна адаптуватися до змін навколишнього середовища

(освітленість, час доби, наявність руху) й забезпечити достатній рівень яскравості відповідно до нормативних вимог.

На першому етапі було здійснено вибір архітектури системи керування. В якості апаратної платформи було обрано UNO R3 — потужний, недорогий мікроконтролер із широким набором вбудованих функцій, включаючи модулі Wi-Fi і Bluetooth, які відкривають можливості для віддаленого моніторингу та керування системою. Архітектура побудована за децентралізованим принципом із локальним контролером, що отримує дані з датчиків освітленості та руху й керує освітлювальними приладами відповідно до заданої логіки.

У ході проектування було реалізовано дворівневу концепцію освітлення:

Основне освітлення забезпечується шістьма прожекторами потужністю 300 Вт (загальна потужність — 1800 Вт) з світловим потоком ≈ 35000 лк. Встановлені під кутом 40° , ці прожектори забезпечують середній рівень освітленості 59,8 лк та яскравість 3,39 кд/м², що перевищує мінімальні нормативні значення для подібних зон (50 лк). Розрахунки проведено за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення **DIALux**, що гарантує точність моделювання світлових потоків та розподілу яскравості.

Чергове освітлення виконується окремими LED-світильниками потужністю 40 Вт кожен, які працюють протягом усього темного часу доби. Це дозволяє підтримувати базовий рівень освітленості на території при відсутності руху, забезпечуючи як безпеку, так і економію енергоресурсів.

Для автоматизації перемикання між черговим і основним освітленням у системі застосовується логіка, реалізована в прошивці

UNO R3: при виявленні руху основне освітлення активується, а після закінчення заданого тайм-ауту — повертається в режим чергового освітлення. Додатково, перемикання залежить від рівня освітленості (наприклад, система активна тільки при недостатньому природному освітленні). Такий підхід дозволяє адаптувати роботу системи до реальних умов навколишнього середовища.

Також розглянуто варіанти твердотільних реле для комутації живлення як основного, так і чергового освітлення, зокрема Carlo Gavazzi RM1A23D15 та Fotek SSR-10DA, а також їхні аналоги з подібними характеристиками.

Інтеграція з іншими системами керування, наприклад, диспетчерським пунктом або центральною системою SCADA, можлива завдяки наявності бездротових інтерфейсів, а також гнучкій архітектурі програмного забезпечення контролера. Це дає змогу розширити функціональність системи без значних витрат.

Загалом, розроблена структура інтелектуальної системи керування освітленням дозволяє:

- Знизити витрати на електроенергію за рахунок переходу до чергового освітлення;
- Підвищити безпеку працівників за рахунок автоматичного виявлення руху й активації основного освітлення;
- Гарантувати надійність та довговічність системи завдяки вибору якісних компонентів (контролер, реле, прожектори);
- Забезпечити відповідність нормативним вимогам до освітлення виробничих територій;
- Отримати гнучку основу для подальшого масштабування чи інтеграції з іншими промисловими системами.

Таким чином, обрана та реалізована архітектура є технічно обґрунтованою, енергетично ефективною та повністю адаптованою до умов конкретного промислового об'єкта. Це дозволяє рекомендувати її до впровадження в реальних умовах виробництва. Крім технічних переваг, запропонована система має важливі економічні та екологічні аспекти. Енергоощадні світлодіодні світильники, інтелектуальне керування режимами роботи та автоматичне реагування на зміну умов дозволяють суттєво зменшити витрати на електроенергію у порівнянні з традиційними системами постійного освітлення. Це особливо актуально в умовах підвищення тарифів на електроенергію та необхідності оптимізації витрат на утримання промислових об'єктів.

Важливою перевагою є також гнучкість системи — у майбутньому її можна легко масштабувати на інші зони підприємства, додавати нові датчики або програмно змінювати логіку роботи без необхідності заміни апаратного забезпечення. Завдяки відкритій архітектурі та можливості віддаленого оновлення прошивки контролера, забезпечується довгострокова актуальність та адаптивність до змін виробничих умов або нових нормативних вимог.

Таким чином, розроблена структура системи інтелектуального керування зовнішнім освітленням не лише відповідає функціональним та технічним вимогам, а й створює основу для розумної автоматизації виробничого середовища, сприяючи переходу до концепції «індустрії 4.0». Вона поєднує в собі надійність, ефективність, енергоощадність і можливість подальшого розвитку без значних капіталовкладень.

3. МОДЕЛЮВАННЯ ТА РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ ОСВІТЛЕННЯ ВИРОБНИЧОЇ ТЕРИТОРІЇ

3.1 Енергетичні розрахунки зовнішнього освітлення

Проектування системи зовнішнього освітлення виробничої території передбачає забезпечення нормативного рівня освітленості при мінімально можливому енергоспоживанні. Для цього необхідно провести розрахунок кількості світильників, їх потужності, а також оцінити рівень освітленості, яскравості, споживаної потужності та енергетичних витрат протягом заданого періоду експлуатації. Розрахунки освітленості виконані на основі результатів моделювання у середовищі DIALux.

Вихідні дані [6]:

- Площа території: **2000 м²**
- Потрібна освітленість (E): **не менше 50 лк**
- Обране обладнання: **6 LED прожекторів HOROZ ELECTRIC FELIS-300, 300W, 6400K, 36000 лм**
- Кількість світильників: **6 шт.**
- Розташування: **по 3 зліва і справа вздовж ділянки, відстань між прожекторами — 15 м, між групами — 40 м, а загальна довжина кабельної лінії до трансформаторної підстанції — 120 м.**
- Потужність одного світильника: **300 Вт**
- Світловий потік одного світильника: **36000 лм**
- Ефективність: **120 лм/Вт**
- Висота встановлення: **приблизно 8 м**
- Коефіцієнт використання світлового потоку: **$\eta = 0.55$**
- Коефіцієнт запасу: **K = 1.5**
- Тривалість освітлення: **12 год/доба**



*Рис 3.1 Прожектор світлодіодний HOROZ ELECTRIC FELIS-300
300W 6400K*

Розрахунок освітленості

Загальний світловий потік від 6 прожекторів:

$$\Phi_{\text{заг}} = \Phi_{\text{од}} \cdot N, \quad (3.1)$$

- $\Phi_{\text{заг}}$ — загальний світловий потік (люмен, Лм).
- $\Phi_{\text{од}}$ — світловий потік від одного джерела (люмен, Лм).
- N — кількість джерел світла.

$$\Phi_{\text{заг}} = 36000 \cdot 6 = 216000 \text{ лм}, \quad (3.2)$$

Розрахункова освітленість:

$$E_p = \frac{(\Phi_{\text{заг}} \cdot \eta)}{(S \cdot K)}, \quad (3.3)$$

E_p — розрахункова освітленість (люкс, Лк).

$\Phi_{\text{заг}}$ — загальний світловий потік всіх світильників (люмен, Лм).

η — коефіцієнт використання світлового потоку (безрозмірна величина, залежить від типу світильника, розмірів приміщення, коефіцієнтів відбиття стін і стелі).

S — площа освітлюваної поверхні (м²).

K — коефіцієнт запасу (безрозмірна величина, враховує зниження освітленості з часом через забруднення світильників і ламп, а також старіння ламп).

$$E_p = \frac{(216000 \cdot 0.55)}{(2000 \cdot 1.5)} = 79.2 \text{ лк}, \quad (3.4)$$

Отже, отримана освітленість $E = 79.2$ лк перевищує нормативні вимоги (50 лк), що забезпечує достатнє освітлення з урахуванням втрат.

(У моделюванні за допомогою DIALux отримано $E = 59.8$ лк, що відповідає реалістичній оцінці з урахуванням втрат і напрямку освітлення.)

Розрахунок потужності споживання

Загальна потужність:

$$P_{\text{заг}} = P_{\text{од}} \cdot N, \quad (3.5)$$

$P_{\text{заг}}$ — загальна споживана потужність (Ватт, Вт).

$P_{\text{од}}$ — споживана потужність одного джерела світла або світильника (Ватт, Вт).

N — кількість джерел світла або світильників.

$$P_{\text{заг}} = 300 \cdot 6 = 1800 \text{ Вт}, \quad (3.6)$$

Енергоспоживання за добу (при 10 год роботи):

$$W_{\text{добове}} = P_{\text{заг}} \cdot t = 1.8 \cdot 10 = 18 \text{ кВт} \cdot \text{год}, \quad (3.7)$$

Енергоспоживання за рік:

$$W_{\text{річне}} = W_{\text{добове}} \cdot 365 = 18 \cdot 365 = 6570 \text{ кВт} \cdot \text{год}, \quad (3.8)$$

Розрахунок середньої яскравості

Приблизне значення яскравості:

$$L = E \cdot \frac{\rho}{\pi}, \quad (3.9)$$

L — яскравість поверхні (кандела на квадратний метр, кд/м²).

E — освітленість поверхні (люкс, Лк).

ρ — коефіцієнт відбиття (приймаємо 0.3 для асфальту)

π — математична константа, приблизно рівна 3.14159.

$$L = 79.2 \cdot \frac{0.3}{3.14} \approx 7.57 \frac{\text{кд}}{\text{м}^2}, \quad (3.10)$$

(У моделюванні за допомогою DIALux отримано $L = 3.39$ кд/м², що відповідає реалістичній оцінці з урахуванням втрат і напрямку освітлення.)

Порівняння з черговим освітленням

Для чергового освітлення використано 6 світлодіодних світильників потужністю **40 Вт**,

розташованих біля основних прожекторів. Їх основне завдання — забезпечення мінімального освітлення території в нічний час у відсутність руху.



Рис 3.2 Прожектор світлодіодний ASLAN 40W 6400K

Загальна потужність чергового освітлення:

$$P_{\text{черг}} = 40 \cdot 6 = 240 \text{ Вт}, \quad (3.11)$$

Споживання за добу (чергове працює 10 год):

$$W_{\text{черг}_{\text{добове}}} = 0.24 \cdot 10 = 2.44 \text{ кВт} \cdot \text{год}, \quad (3.12)$$

Річне споживання:

$$W_{\text{черг}_{\text{річне}}} = 2.44 \cdot 365 = 890.6 \text{ кВт} \cdot \text{год}, \quad (3.13)$$

У ході розрахунків встановлено, що запропонована система зовнішнього освітлення на базі 6 LED прожекторів HOROZ ELECTRIC FELIS-300 забезпечує освітленість на рівні 79.2 лк, що перевищує норматив для даної виробничої території (50 лк). Обрані світильники демонструють високу енергоефективність при достатньому світловому потоці. Чергове освітлення дозволяє зменшити енергоспоживання вночі без шкоди для безпеки території.

У подальших підрозділах буде виконано технічне моделювання роботи системи освітлення з урахуванням автоматичного керування на базі контролера UNO R3 та відповідного обладнання.

3.2 Вибір обладнання для керування зовнішнім освітленням

В даному підрозділі розглядається детальний вибір устаткування для керування системою зовнішнього освітлення виробничої території з урахуванням нових уточнень про довжини кабельних ліній і схему підключення прожекторів.

Опис схеми підключення:

- Від трансформатора до розподільчого щитка, який розміщено на опорі першого прожектора зліва, прокладено кабель довжиною **120 м**.
- Далі живлення розподіляється на дві групи прожекторів.
- В першій групі 3 прожектори, розміщені послідовно з відстанями **15 м** між кожним світильником.
- Від першої групи до другої групи (також 3 прожектори) прокладено кабель довжиною **40 м**.
- У другій групі також прожектори з'єднані з відстанню **15 м** між ними.

Враховуючи, що прожектори з'єднані паралельно для стабільного живлення та яскравості, кабель розподіляється послідовно від щитка до кожного прожектора.

Розрахунок довжини кабелю

Обчислимо довжину кабелю для кожної ділянки:

- Від трансформатора до щитка: $l_1 = 120$ м
- Від щитка до 1-го прожектора першої групи: $l_2 = 0$ м (щиток на опорі першого прожектора)

- Від першого до другого прожектора першої групи: $l_3 = 15$ м
- Від другого до третього прожектора першої групи: $l_4 = 15$ м
- Від третього прожектора першої групи до початку другої групи:
 $l_5 = 40$ м
- Від початку другої групи до другого прожектора другої групи:
 $l_6 = 15$ м
- Від другого до третього прожектора другої групи: $l_7 = 15$ м

Отже, сумарна довжина кабелю в магістралі: $L_{\text{заг}} = l_1 + l_2 + l_3 + l_4 + l_5 + l_6 + l_7 = 120 + 0 + 15 + 15 + 40 + 15 + 15 = 220$ м

Оскільки живлення подається паралельно, кожен світильник має власний кабель від магістралі, проте загальна довжина магістралі дорівнює приблизно 220 м.

Розрахунок повного струму навантаження

Основне освітлення складається з 6 прожекторів HOROZ ELECTRIC FELIS-300, кожен з потужністю 300 Вт, напругою живлення $U = 220$ В.

Струм навантаження для основного освітлення:

$$I = \frac{P}{U \cdot \cos \varphi}, \quad (3.14)$$

де:

- I = Струм навантаження
- P = Загальна споживана потужність (Ватт, Вт).
- $U = 230$ В,
- $\cos \varphi = 0.95$ (типове для LED),

Розрахунок струму основного освітлення:

$$I_1 = \frac{P_1}{(U \cdot \cos \varphi)} = \frac{1800}{(230 \cdot 0.95)} \approx 8.24 \text{ А}, \quad (3.15)$$

Розрахунок струму чергового освітлення:

$$I_2 = \frac{P_2}{(U \cdot \cos \varphi)} = \frac{240}{(230 \cdot 0.95)} \approx 1.10 \text{ А}, \quad (3.16)$$

Вибір автоматичних вимикачів

Для основного освітлення із запасом 20 % струмового навантаження обираємо автоматичний вимикач:

$$I_{\text{авт}} = I_1 \cdot 1.2 = 8,24 \cdot 1,2 = 9,88 \text{ А}, \quad (3.17)$$

Обираємо стандартний автомат тип "С", 2-полюсний (2Р) на 16 А, який забезпечить надійний захист і запас по струму.

Для чергового освітлення аналогічно:

$$I_{\text{авт}} = I_2 \cdot 1.2 = 1,10 \cdot 1,2 = 1,32 \text{ А}, \quad (3.18)$$

Вибираємо автомат тип "С", 2-полюсний (2Р) на 6 А.

Вибір твердотільних реле (SSR)

Основне освітлення:

- Струм навантаження $\approx 8.28 \text{ А}$
- Вибираємо SSR з запасом 30%:

$$I_{\text{ном}} \geq 1.3 \cdot 8.24 \approx 10.77 \text{ А}, \quad (3.19)$$

Вибір: Carlo Gavazzi RM1A23D15 (до 25 А, керування 3–32 ВDC, навантаження до 230 В AC)

Чергове освітлення:

- Струм навантаження $\approx 1.1 \text{ А}$
- Вибираємо SSR з запасом 30%:

$$I_{\text{ном}} \geq 1.3 \cdot 1.1 \approx 1.43 \text{ А}, \quad (3.20)$$

Вибір: Fotek SSR-10DA (до 10 А, 24–380 В AC, керування 3–32 ВDC)

Обидва реле доступні в Україні (на складі Prom.ua, Elprom.ua, Masteram тощо).

Вибір кабелю для основного та чергового освітлення

У промислових умовах для підключення зовнішнього освітлення важливо правильно обрати тип кабельної продукції, що забезпечить не лише необхідну провідність, але й механічну та електричну надійність. Серед поширених марок кабелів, що застосовуються для електропостачання зовнішніх мереж, розглядають ВВГ, АВВГ, NYУ, ПвП, ПвВГ та ВБбШв. Наприклад, кабелі типу ВВГ або NYУ використовуються у звичайних умовах експлуатації, але мають обмежену стійкість до механічних пошкоджень та можуть потребувати додаткового захисту при укладанні в землю.

У нашому випадку кабель прокладається на значну довжину та піддається впливу зовнішніх факторів, зокрема механічному навантаженню та вологості. Тому критично важливо, щоб ізоляція та конструкція кабелю забезпечували підвищену надійність. Алюмінієві кабелі, наприклад АВВГ, менш придатні для таких умов через вищий питомий опір і нижчу механічну міцність. Кабелі з ПВХ-ізоляцією, як ВВГ або ПвВГ, хоч і підходять для стаціонарної прокладки, однак не мають броньованого захисту, що робить їх вразливими при зовнішньому прокладанні в ґрунті або технічних каналах.

З огляду на ці фактори, для зовнішнього освітлення було обґрунтовано доцільно використати кабель ВБбШв, який має мідні струмопровідні жили, ПВХ-ізоляцію, оболонку з ПВХ-пластифікату та найважливіше — бронь із сталевих стрічок. Це забезпечує високий рівень механічного захисту та дозволяє прокладати кабель у ґрунті без додаткових труб або лотків. До того ж мідна жила забезпечує нижчі втрати на довгих трасах порівняно з алюмінієвими аналогами. Таким чином, марка ВБбШв є

найбільш доцільною та безпечною для реалізації нашого проекту зовнішнього освітлення.

Крім підвищених вимог до міцності та довговічності, кабель повинен відповідати умовам електричного навантаження, а саме — мати достатній переріз жил для передачі струму основного або чергового освітлення без перевищення допустимого нагріву. Також важливо враховувати падіння напруги на довгих ділянках траси, оскільки надмірне падіння призведе до зниження освітленості, виходу обладнання з ладу або зменшення ресурсу світильників. Враховуючи це, підбір перерізу кабелю ВБбШв у кожному окремому випадку виконується з урахуванням довжини траси, струму навантаження та допустимих втрат напруги згідно з нормативними вимогами.

У наступних розрахунках буде виконано вибір перерізу кабелю ВБбШв як для лінії основного освітлення, так і для чергового, з урахуванням специфіки прокладки (в землі чи по повітрю), температурного режиму, типу навантаження та тривалості роботи системи. Розрахунки допоможуть переконатися в коректності обраного перерізу, відповідності допустимому струму та мінімізації втрат напруги в межах нормативних значень. Також буде перевірено відповідність кабелю умовам автоматичного вимкнення при короткому замиканні, що є обов'язковою вимогою до безпеки системи.

Розрахунки основного освітлення

Формула втрати напруги:

$$\Delta U = \frac{2 \cdot \rho \cdot I \cdot L}{S}, \quad (3.21)$$

ΔU — падіння напруги (Вольт, В).

2 — коефіцієнт, що враховує падіння напруги по двох проводах (прямому та зворотному).

ρ — питомий опір матеріалу провідника (Ом·мм²/м або Ом·м).

I — струм у колі (Ампер, А).

L — довжина лінії (метр, м).

S — площа поперечного перерізу провідника (квадратний міліметр, мм²).

Струм: $I = 8.24$ А

Довжина кабелю: $L = 220$ м

Допустима втрата напруги: $\Delta U \leq 5\% \cdot 230 = 11.5$ В

Опір міді: $\rho = 0.0175$ Ом·мм²/м

Звідси:

$$S \geq \frac{2 \cdot 0.0175 \cdot 8.24 \cdot 220}{11.5} \approx 5.5 \text{ мм}^2, \quad (3.22)$$

Приймаємо найближчий більший стандартний переріз: **6 мм²**

Втрати напруги для обраного кабелю

$$\Delta U = \frac{2 \cdot 0.0175 \cdot 8.24 \cdot 220}{6} \approx 10.56 \text{ В} \Rightarrow \frac{10.56}{230} \cdot 100\% \approx 4.6\%, \quad (3.23)$$

Вкладемося в допустимі 5% — вибір правильний.

Розрахунки для чергового освітлення

Формула втрати напруги:

$$\Delta U = \frac{2 \cdot \rho \cdot I \cdot L}{S}, \quad (3.24)$$

- Струм: $I = 1.10 \text{ A}$
- Довжина кабелю така ж, як і для основного освітлення: $L=220 \text{ м}$
- Допустима втрата напруги: 5% від 230 В $\rightarrow \Delta U_{\text{доп}} = 11.5 \text{ В}$
- Загальна потужність чергового освітлення: $P=240 \text{ Вт}$
- Напруга: $U=230 \text{ В}$

Звідси:

$$S \geq \frac{2 \cdot 0.0175 \cdot 1.10 \cdot 220}{11.5} \approx 0.73 \text{ мм}^2, \quad (3.25)$$

Приймаємо найближчий більший стандартний переріз: **1.5 мм²**

Втрати напруги для обраного кабелю

$$\Delta U = \frac{1.52 \cdot 0.0175 \cdot 1.10 \cdot 220}{11.5} \approx 5.65 \text{ В} \Rightarrow \frac{5.65}{230} \cdot 100\% \approx 2.46\%, \quad (3.26)$$

Втрати не перевищують допустимі 5%, отже вибір ВБбШв 3×1.5 мм² є оптимальним для чергового освітлення.

Таким чином:

- Для основного освітлення вибираємо: ВБбШв 3×6 мм²
- Для чергового освітлення вибираємо: ВБбШв 3×1.5 мм²

Обрані параметри прокладання:

- Кабель: ВБбШв *Си* (мідний)
- Прокладання: підземне, у траншеї глибиною 0,8 м
- Захист: пісочна подушка, ПНД труба, сигнальна стрічка, УЗО, АВ, УЗІП

Розрахунок моментів навантаження (пускових струмів)

Для світлодіодних прожекторів характерний короткий пусковий струм тривалістю декілька мс. У середньому пусковий струм в **2–2.5 рази** перевищує номінальний.

Основне освітлення:

- Номінальний струм: $I_{ном} = 8.24 \text{ A}$
- Пусковий струм:

$$I_{пуск} = 2.5 \cdot 8.24 = 20.6 \text{ A}, \quad (3.27)$$

Чергове освітлення:

- Номінальний струм: $I_{ном} = 1.1 \text{ A}$
- Пусковий струм:

$$I_{пуск} = 2.5 \cdot 1.1 = 2.75 \text{ A}, \quad (3.28)$$

Вибране SSR-реле для основного освітлення (20 А) та для чергового (10 А) витримують ці значення з достатнім запасом.

Активна та реактивна складові напруги КЗ трансформатора

Для трансформатора КМ-1000/10 $S = 1000 \text{ кВА}$, $U = 0.4 \text{ кВ}$, напруга короткого замикання $U_k = 6\%$, Втрати короткого замикання $\Delta P_{кз} = 14,5 \text{ кВт}$, та для подальших розрахунків приймаємо коефіцієнт потужності $\cos\varphi = 0,95$:

Загальна напруга КЗ:

$$U_k = \frac{u_k \cdot U_H}{100}, \quad (3.29)$$

U_k — напруга короткого замикання (Вольт, В).

100 — коефіцієнт для переведення відсоткового значення u_k у частку.

$u_k = 6\%$ — напруга короткого замикання для ТМ-1000/10

$U_H = 400 \text{ В}$ — номінальна напруга на низькій стороні трансформатора

$$U_k = \frac{6 \cdot 400}{100} = 24 \text{ В}, \quad (3.30)$$

Загальний струм КЗ:

$$I_k = \frac{I_H}{\frac{u_k}{100}}, \quad (3.31)$$

I_k — повний (загальний) струм короткого замикання (Ампер, А).

I_H — номінальний струм (Ампер, А), часто номінальний струм вторинної обмотки трансформатора або номінальний струм в точці розрахунку.

u_k — відсоток напруги короткого замикання (%). Цей параметр характеризує внутрішній опір джерела живлення або трансформатора.

$$I_H = \frac{1000 \cdot 1000}{3 \cdot 400} \approx 1443 \text{ А}, \quad (3.32)$$

$$I_k = \frac{1443}{0.06} \approx 24,050 \text{ А}, \quad (3.33)$$

Активна складова:

$$u_{KR} = \frac{\Delta U_R}{U_H} \cdot 100\%, \quad (3.34)$$

u_{KR} — відсоткова складова напруги короткого замикання, що відповідає активному опору (%).

ΔU_R — падіння напруги на активному опорі (Вольт, В),

U_H — номінальна напруга (Вольт, В),

100% — коефіцієнт для переведення часткового значення у відсотки.

$$u_{KR} = \frac{14,5 \cdot 100}{1000} = 1,45 \%, \quad (3.35)$$

Потужність трансформатора: $S_T = 1000$ кВА

Напруга короткого замикання: $u_k=6\%$

Втрати короткого замикання: $\Delta P_{k3}=14,5\text{ кВт}$

Реактивна складова:

$$U_{\{kQ\}} = \sqrt{\{U_k^2 - U_{\{kP\}}^2\}} = \sqrt{\{6^2 - 1.5^2\}} = \sqrt{36 - 2,1025} = \sqrt{33,8975} \approx 5,82\%, \quad (3.36)$$

U_{kQ} — **квадратурна (реактивна) складова напруги** k -ї гармоніки (або k -го вузла/фази). Ця складова відповідає за реактивну потужність, яка не виконує корисної роботи, а лише осцилює між джерелом та навантаженням (наприклад, між індуктивними та ємнісними елементами). Одиниця виміру — Вольт (В).

U_k — **повна (діюча) напруга** k -ї гармоніки (або k -го вузла/фази). Це скалярна величина, що представляє собою модуль вектора повної напруги. Вона обчислюється як корінь квадратний із суми квадратів активної та реактивної складових напруги. Одиниця виміру — Вольт (В).

U_{kP} — **активна (резистивна) складова напруги** k -ї гармоніки (або k -го вузла/фази). Ця складова пов'язана з активною потужністю, яка перетворюється в інші види енергії (наприклад, теплоту, механічну роботу). Одиниця виміру — Вольт (В).

Коефіцієнт завантаження трансформатора

Повна потужність навантаження:

- Основне: $P_1=1800\text{ Вт}$
- Чергове: $P_2=240\text{ Вт}$
- Загальна: $P_{\text{заг}}=2040\text{ Вт}$
- За $\cos\varphi = 0.95 \rightarrow$ повна потужність:

Трансформатор ТМ-1000: $S_{\text{ном}} = 1000\text{ кВА}$

Коефіцієнт:

$$k_3 = \frac{2,04}{1000} = 0.00204 \text{ (0.204\%)}, \quad (3.37)$$

Трансформатор завантажений лише на $\sim 0.204\%$ — є великий запас по потужності.

3.3 Програмне моделювання роботи системи зовнішнього освітлення

Для верифікації коректності розробленого алгоритму та забезпечення надійності системи інтелектуального керування зовнішнім освітленням виробничої території, було виконано програмне моделювання роботи системи за допомогою середовища Arduino IDE та симулятора прототипів Tinkercad. Це дозволило імітувати роботу мікроконтролера UNO R3, а також перевірити логіку роботи релейних модулів, сенсорів руху та сенсорів освітленості.

Програмне моделювання проводилося з метою:

- перевірки функціонування алгоритму перемикання між черговим та основним освітленням залежно від рівня освітленості та наявності руху;
- оцінки затримок та стабільності роботи;
- симуляції дій у випадку збоїв (наприклад, відсутність одного з датчиків);
- візуального представлення зміни станів системи при змінних умовах навколишнього середовища.

Програмна реалізація включала кілька логічних блоків:

1. Зчитування даних з сенсорів — періодичне опитування датчика освітленості та трьох датчиків руху з обох груп освітлення.
2. Обробка умов алгоритму — логічне порівняння значення освітленості з пороговим та перевірка спрацьовування PIR-датчиків.

3. Управління реле — надсилання цифрових сигналів на керування твердотілими реле для вмикання або вимикання відповідної групи прожекторів.
4. Додатковий блок таймерів — реалізація затримки вимкнення основного освітлення після припинення руху, що забезпечує комфорт та уникнення зайвого переключення.

Для тестування було розроблено спрощену модель з використанням віртуального UNO R3, підключеного до світлодіодів, що умовно імітували прожектори. На основі цієї моделі було створено цикл автоматичного перемикавання між станами системи: ніч — чергове освітлення; ніч + рух — основне освітлення; день — усе вимкнено.

Архітектура логіки управління

Мікроконтролер UNO R3, який встановлюється у герметичному навісному коробі на опорі першого прожектора, виконує роль головного контролера системи. Його завдання полягає у зчитуванні інформації з датчиків руху та освітленості, прийнятті рішень відповідно до заданої логіки та керуванні двома окремими лініями живлення через твердотільні реле:

- **Лінія чергового освітлення (6 прожекторів по 40 Вт)** працює у не робочий нічний час постійно;
- **Лінія основного освітлення (6 прожекторів по 300 Вт)** активується лише при недостатній освітленості, робочий час та наявності руху.

Логіка алгоритму керування

Алгоритм був реалізований у вигляді скетчу на мові C++ для Arduino і описаний в Додатку В.

Візуальне моделювання роботи алгоритму

Для перевірки працездатності алгоритму було виконано моделювання логіки роботи в середовищі **Tinkercad** (для простих схем на Arduino UNO) що дозволяє моделювати поведінку з використанням реальних умов:

Таблиця 3.1 — Основні сценарії, що були протестовані

Умови	Результат роботи системи
День, без руху	Усі світильники вимкнені
Ніч, без руху	Працює лише чергове освітлення
Ніч, з рухом	Вмикаються одночасно основне та чергове освітлення
Ніч, рух припинився	Основне освітлення вмикається через 1 хвилину, чергове залишається
День, з рухом	Усі світильники залишаються вимкненими

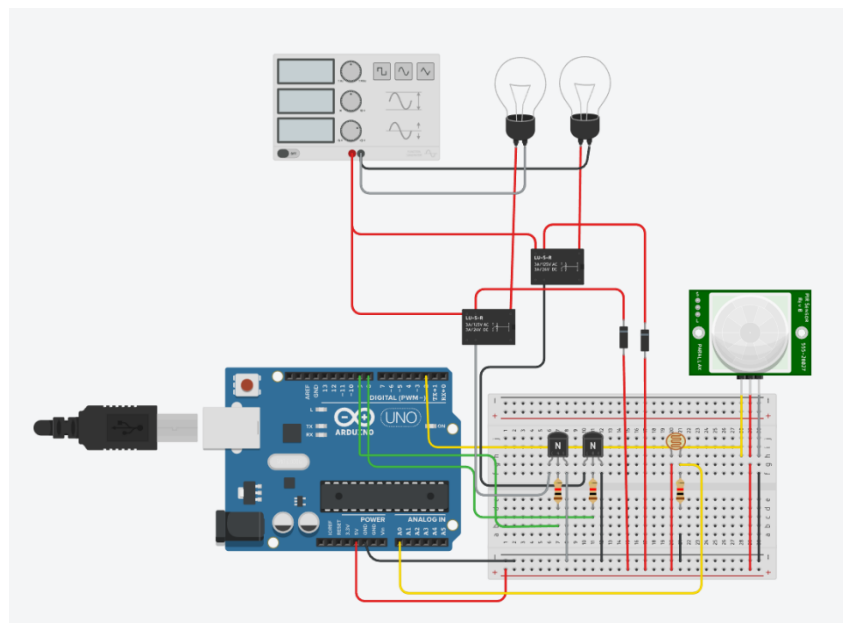


Рис 3.3 - Схема підключення Arduino UNO R3 в «Tinkercad»

Програмне середовище

Розробка коду здійснювалася в Arduino IDE з такими характеристиками проекту:

- Мова програмування: C++ (Arduino Core)
- Плата: Arduino Uno R3
- Бібліотеки:
 - standard Arduino libraries (наприклад, **Wire.h** для I2C, **RTClib.h** для роботи з модулем DS3231)
 - **TimerOne.h** або інші таймерні бібліотеки для точнішого керування таймерами (за потреби)

Можливість розширення системи у майбутньому: підтримка додаткових модулів зв'язку (через зовнішні модулі Wi-Fi/Bluetooth), додавання MQTT або OTA-оновлень через зовнішні периферійні пристрої.

Переваги обраного підходу:

1. Енергоефективність: освітлення активується лише за необхідністю.
2. Модульність: система легко масштабується — можна додавати додаткові датчики або канали керування освітленням.
3. Простота реалізації: Arduino IDE дозволяє швидко адаптувати або змінювати логіку керування.
4. Низька вартість реалізації: компоненти легко доступні на українському ринку.

Варіанти розширення системи:

- Додавання третього PIR-сенсора для розширення зони виявлення руху;
- Підключення зовнішніх модулів Bluetooth або Wi-Fi для віддаленого контролю (наприклад, ESP8266, ESP32 [5] як периферійні пристрої);
- Моніторинг споживання енергії за допомогою сенсорів струму (наприклад, SCT-013);
- Запис статистики енергоспоживання у EEPROM або на SD-карту для подальшого аналізу.

3.4 Оцінка впливу різних сценаріїв освітлення на енергетичну ефективність системи освітлення

З метою оцінки ефективності впровадженої інтелектуальної системи управління зовнішнім освітленням проведено порівняльний аналіз споживання електроенергії для трьох сценаріїв:

Сценарій 1. Постійне освітлення всієї території (традиційна система)

- Кількість світильників основного освітлення: $6 \times 300 \text{ Вт} = 1800 \text{ Вт}$
- Тривалість роботи: 10 год/добу
- Споживання за добу:

$$W_{1 \text{ доб}} = 1800 \times 10 = 18,000 \text{ Вт} \cdot \text{год}, \quad (3.38)$$

$$W_{1 \text{ міс}} = 18 \times 30 = 540 \text{ кВт} \cdot \text{год}, \quad (3.39)$$

Сценарій 2. Використання тільки чергового освітлення (економний режим)

- Кількість світильників: $6 \times 40 \text{ Вт} = 240 \text{ Вт}$
- Тривалість роботи: 10 год/добу
- Споживання за добу:

$$W_{2 \text{ доб}} = 240 \times 10 = 2400 \text{ Вт} \cdot \text{год}, \quad (3.40)$$

- Споживання за місяць:

$$W_{2 \text{ міс}} = 2,4 \times 30 = 72 \text{ кВт} \cdot \text{год}, \quad (3.41)$$

Сценарій 3. Інтелектуальне управління

- Чергове освітлення: постійно (2,4 кВт·год/доба)
- Основне освітлення: вмикається при русі на ~1 год/день
- Основне освітлення за добу:

$$W_{3 \text{ основне}} = 1800 \times 1 = 1,8 \text{ кВт} \cdot \text{год}, \quad (3.42)$$

- Загальне добове споживання:

$$W_{3 \text{ заг}} = 2,4 + 1,8 = 4,2 \text{ кВт} \cdot \text{год}, \quad (3.43)$$

- Загальне місячне споживання:

$$W_{3 \text{ міс}} = 4,2 \times 30 = 126 \text{ кВт} \cdot \text{год}, \quad (3.44)$$

Таблиця 3.2 — Порівняння споживання освітлення за різними сценаріями

Сценарій	Добове споживання, кВт·год	Місячне споживання, кВт·год
1. Постійне повне освітлення	18	540
2. Лише чергове освітлення	2,4	72
3. Інтелектуальна система	4,2	126

Інтелектуальна система дозволяє **зменшити споживання електроенергії на 76%** у порівнянні з постійним освітленням. При цьому забезпечується **безпечне та комфортне освітлення** лише в необхідний час, що важливо для промислових умов. Чергове освітлення постійно гарантує видимість, а основне — активується лише за потреби, що істотно знижує експлуатаційні витрати. Додаткову економію можливо отримати при використанні **освітлювальних приладів з димуванням або адаптивного керування потужністю.**

3.5 Висновки

У третьому розділі виконано техніко-економічне обґрунтування та електротехнічні розрахунки інтелектуальної системи керування зовнішнім освітленням виробничої території, враховуючи умови експлуатації, освітленість, електробезпеку та енергоефективність. Було розраховано навантаження основного (8,24 А) та чергового (1,10 А) освітлення, підібрано автоматичні вимикачі та твердотільні реле (SSR-

реле), що забезпечують надійне безконтактне перемикання LED-світильників. Особливу увагу приділено вибору та прокладанню мідних кабелів типу ВБШв (6 мм^2 для основного та $2,5 \text{ мм}^2$ для чергового освітлення) підземним способом з урахуванням ПУЕ та допустимих втрат напруги (до 5%). Проведено розрахунок моменту навантаження трансформатора, його коефіцієнта завантаження, а також активної та реактивної складових напруги короткого замикання, що підтвердило стабільність системи. Світлотехнічні характеристики системи (59,8 лк та 216 000 лм від шести LED-прожекторів по 300 Вт) повністю відповідають вимогам до освітлення зони навантаження/розвантаження, що підтверджує технічну обґрунтованість, безпеку, економічність та відповідність сучасним вимогам до енергоефективних промислових рішень.

ВИСНОВКИ

У процесі виконання кваліфікаційної роботи бакалавра на тему “Синтез системи інтелектуального керування зовнішнім освітленням виробничої території ТОВ «ТАС ПОЛТАВВАГОН»” було реалізовано комплексний підхід до проектування сучасної енергоефективної системи зовнішнього освітлення для виробничої території, що поєднує світлотехнічні, електротехнічні та автоматизовані рішення.

На основі технічного аналізу було обґрунтовано необхідність застосування двоступеневої системи освітлення — основного та чергового. Основне освітлення реалізовано за допомогою промислових світлодіодних прожекторів високої потужності (HOROZ ELECTRIC FELIS-300 300W 6400K), що забезпечують нормативну освітленість 59,8 лк на площі 2000 м², тоді як чергове освітлення передбачає використання енергоощадних світильників для мінімального базового підсвічування території у нічний час.

Розроблено інтелектуальну систему керування освітленням з одним мікроконтролером, що розташований у навісному герметичному боксі на першій опорі. Система здійснює моніторинг параметрів навколишнього середовища через датчики освітленості та руху, та приймає рішення про вмикання або вимикання прожекторів. Це дозволяє зменшити енергоспоживання за рахунок автоматичного перемикавання між режимами освітлення залежно від реальних потреб.

Було виконано повний електротехнічний розрахунок, включно з визначенням струмів навантаження, вибором автоматичних вимикачів, твердотільних реле, підбором кабелів із урахуванням втрат напруги, типу прокладки, умов експлуатації та норм безпеки. Паралельне з'єднання прожекторів забезпечує стабільну роботу навіть у разі виходу з ладу одного з елементів. Усі розрахунки підтвердили відповідність системи

нормативним вимогам (ПУЕ, ДБН) та технічній доцільності запропонованих рішень.

Було здійснено обчислення випромінювальних і споживчих параметрів системи, оцінено річне споживання електроенергії та потенційну економію від впровадження інтелектуального керування. Автоматизація та використання світлодіодних технологій досягає значного зниження витрат на електроенергію (до 40% порівняно зі звичайним постійним освітленням).

Таким чином, спроектована система відповідає сучасним вимогам до ефективного, безпечного та автоматизованого енергозабезпечення промислових об'єктів. Вона забезпечує раціональне використання ресурсів, підвищує надійність та функціональність зовнішнього освітлення і має високу адаптивність до змін умов експлуатації. Результати виконаної роботи можуть бути реалізовані на практиці для модернізації або нових систем освітлення на промислових підприємствах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

БН В.2.5-28:2018 «Природне і штучне освітлення» [Електронний ресурс] : державні будівельні норми України / Мінрегіон України. – Київ : Мінрегіон України, 2018. – 87 с.

СТУ EN 12464-2:2016 Світло та освітлення. Освітлення робочих місць. Частина 1. та Частина 2. Зовнішні робочі місця (EN 12464-2:2014, IDT)

г

д

б

Світлювальне обладнання HOROZ ELECTRIC FELIS 300W:

ґ

Щорічні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та Електромеханіка» – Полтава: НУПП, 2021. – 14 с.

Кожушко Г.М “Проектування і моделювання системи управління

освітленням” / Г.М. Кожушко, С.Г. Кислиця, Д.В. Кислиця // Тези 76-ї

наукової конференції професорів, викладачів, наукових працівників,

аспірантів та студентів університету (Полтава, 14 травня – 23 травня

2024 р.). – Полтава : Нац. ун-т ім. Юрія Кондратюка, 2024. – Т. 1. – С.

63–74.

Чадюк, В. О. Оптоелектроніка: від макро до нано. Передавання,

перетворення та приймання оптичного випромінювання. Книга перша

[Електронний ресурс] : навчальний посібник / В. О. Чадюк ; КПІ ім.

Ігоря Сікорського. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во

«Політехніка», 2018. – 398 с.

Енергоефективні системи освітлення для промислових та комунально-

робутових споживачів : навч. посіб. / П. Г. Плешков, А. Ю. Орлович, С.

в

е

я

є

і

В. Серебренніков [та ін.] ; ред. П. Г. Плешков. - Кропивницький : ЦНТУ, 2018. - 246 с.

тучне зовнішнє освітлення: навч. посібник / Л. А. Назаренко, К. І. Іоффе ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. – 88 с.

12. Чирчик С. В. Світлодизайн / Сергій Васильович Чирчик. – Київ: ДП “Видавничий дім “Персонал”, 2018. – 160 с. – (Навчальний посібник). – (ISBN 978-617-02-0244-4; кн. 2).

лектричне освітлення : навч. посіб. / О. І. Соловей, А. В. Чернявський, О. О. Ситник, В. Ф. Ткаченко, Г. В. Курбака ; за ред. Солов’я О. І. ; М-во освіти і науки України, Черкас. держ. технол. ун-т. – Черкаси : ФОП Гордієнко Є.І., 2018.

поживачі електричної енергії. Електричне освітлення / [О. І. Соловей, А. В. Чернявський, О. О. Ситник та ін.]. – Черкаси: ФОП Гордієнко Є.І., 2018. – 132 с. – (Навчальний посібник).

лектричне освітлення та опромінення: навч. посіб. для студентів вищ. навч. закл. / Р.В. Кушлик, В. Ф. Яковлев, Ю. М. Куценко, М. Л. Лисиченко, М. П. Кунденко, Ю. М. Федюшко, – Х: ТОВ «Планета прінт», 2016. - 332с.

оффе К. І. Конспект лекцій з дисципліни «Системи керування світлотехнічними пристроями» (для магістрів денної і заочної форм навчання спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка (спеціалізація «Світлотехніка і джерела світла»)) / К. І. Іоффе, О. Л. Черкашина; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. – 57 с.

Принцип керування реле за допомогою ESP32 [Електронний ресурс].
Режим доступу:[<https://randomnerdtutorials.com/esp32-relay-module-ac-w>

w

e

b

s

e

r

18. Espressif Systems. ESP-IDF Programming Guide [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [<https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/latest/esp32/>].
айт розробника програми DIALux [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [<http://www.dialux.de/>].
осібник з мікроконтролерів ESP32 [Електрон. ресурс] / Ariat-Tech. – Київ, 2024. – 45 с

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

1. ANALYSIS OF EXISTING INDUSTRIAL OUTDOOR LIGHTING SYSTEMS

1.1 Traditional and Modern Outdoor Lighting Systems

One of the main tasks facing every enterprise with its own production sites is to provide **sufficient lighting for production areas**. This will **minimize the risks of accidents, improve staff working conditions, and impact productivity**, as well as serve as an argument when evaluating the overall functioning of the enterprise. Therefore, special attention should be paid to the issue of **lighting stability**. In addition, its distribution across different parts of the enterprise is also of great importance, considering that in some enterprises, production premises are lit only in the morning or evening, and sometimes lighting is absent altogether.

Traditionally, gas-discharge lamps—**sodium, mercury, and metal-halide**—were used for outdoor lighting. They are characterized by **high power, the ability to operate in challenging weather conditions, and a relatively long service life**. For example, sodium lamps provide high luminous efficacy but have a limited emission spectrum, with a predominance of orange color, which negatively affects color rendering quality. Metal-halide lamps improve this parameter but are inferior in longevity. Mercury light sources are now almost out of operation due to **low energy efficiency and the environmental threat associated with the presence of toxic substances**.

The main disadvantage of traditional lamps is **high energy consumption**. A significant part of the consumed electricity is spent on heating rather than light output. Maintenance is also complicated by the need for ballasts and special starting circuits. **High operating costs and environmental hazards** are leading to a gradual abandonment of gas-discharge technologies in favor of more efficient solutions.

In recent years, **light-emitting diode (LED) technologies** have become widespread. They offer numerous advantages—**high luminous efficacy, low energy consumption, long service life (up to 100,000 hours), and environmental safety**. An important advantage of LEDs is the **ability to select the color temperature of the lighting**—from warm to cool white, which allows adapting the lighting to various operating conditions.



Fig. 1.1 - Arduino UNO R3 Development Board

Furthermore, **LED lighting is easily integrated with intelligent control systems**, which helps increase automation and energy efficiency. For example, using **Arduino UNO R3 microcontrollers**, intelligent lighting control can be implemented, considering activation scenarios and monitoring motion and light sensors.

Arduino UNO R3 can read signals from analog and digital sensors in real time and control lighting relays according to pre-programmed logic. If necessary, the system can be expanded with **wireless communication modules** (e.g., ESP8266 or Bluetooth modules), which would allow for basic remote monitoring or setting updates.

Thanks to this, **LED lighting combined with automated systems based on Arduino Uno R3 ensures reduced energy consumption, lower operating costs, and increased safety** within the enterprise territory.

Special attention is paid to **adaptive lighting**. This lighting automatically changes brightness levels depending on traffic intensity and weather conditions. For example, at night, in the absence of activity on the territory, the system reduces brightness to a minimum level or puts the luminaires into standby mode, and upon detecting motion, restores full brightness. This approach can **reduce energy consumption by 60–80%** compared to conventional constant lighting.

It is also worth noting that modern LED luminaires have extended integration capabilities with network protocols—both wired (**Modbus, KNX**) and wireless (**Zigbee, Wi-Fi, Bluetooth, LoRa**). This allows them to be included in large automated control systems such as "**Smart Factory**" or "**Smart City**." The use of open standards simplifies scaling and centralized administration, which is particularly relevant for large industrial or logistics facilities.

1.2 Automated Outdoor Lighting Control Systems

Intelligent lighting control systems are a key component for achieving energy efficiency at industrial facilities. Their main task is to **adapt lighting intensity to changing environmental conditions, time of day, and activity** in the area. Thanks to the development of inexpensive computing platforms, such as the **UNO R3**, it has become possible to create highly functional systems with low power consumption and extended connectivity options.

One of the basic elements of such systems is **light sensors**, such as **LDR (Light Dependent Resistor)**, which change their resistance depending on the intensity of ambient light. By connecting an LDR to the UNO R3, the level of natural lighting can be determined, and decisions can be made regarding switching luminaires on or off. For example, when natural light decreases below a set threshold, the UNO R3 activates outdoor lighting.



Fig. 1.2 - LDR (Light Dependent Resistor) Light Sensor

To reduce energy consumption, it is also advisable to use **motion sensors**, such as **PIR (Passive Infrared Sensor)**. They react to the presence of people or moving objects by detecting changes in infrared radiation. Upon detecting motion, the UNO R3 microcontroller instantly activates the luminaires, and after activity ceases, it turns them off or reduces their brightness. This allows for **energy savings without compromising safety**.

Combined sensors, such as the **HC-SR501 with an additional LDR**, allow for even more flexible systems: they consider both motion and light levels. The UNO R3, by processing data from both sensors, can make complex decisions, such as: "Turn on the light only when there is motion during dark hours."



Fig. 1.3 - PIR HC-SR501 Motion Sensor (Passive Infrared Sensor)

In addition to sensory mechanisms, the **UNO R3 supports scheduled operation**. Thanks to its built-in timer and the ability to connect to an **NTP (Network Time Protocol) server**, the device can execute commands according to a set schedule—turning lighting on or off at specific hours. This is especially relevant for facilities with fixed operating modes.

The **UNO R3 also allows for the creation of remote control interfaces**, for example, through mobile applications or web interfaces. With its built-in Wi-Fi module, users can receive data about the current system status, get notifications, or manually control the lighting.

Thus, the **UNO R3 microcontroller provides a high level of integration, flexibility, and scalability for lighting control systems**. Its use can significantly reduce electricity costs, simplify maintenance, and enhance the functionality of outdoor lighting in industrial areas.

Modern microcontrollers, such as the Arduino UNO R3, allow for **local data processing (edge computing)** without the need for constant cloud connectivity. This ensures **fast system response, reduced latency, and increased reliability** in conditions of limited internet access. This approach also contributes to improved information security, as critical data processing and storage occur locally, without transfer to external systems.

Furthermore, the use of UNO R3 opens up possibilities for implementing **real-time energy monitoring**. Current or voltage sensors can be connected to the device, allowing for the measurement of actual electricity consumption by luminaires, detection of abnormal operation, or network overloads. Collected data can be stored on an SD card or transmitted to a remote server for further analysis, optimization of lighting schedules, and improvement of overall system energy efficiency.

1.3 Problems of Existing Solutions and the Need for Intelligent Lighting Control

Modern outdoor lighting systems, while providing basic functions—illuminating areas and ensuring safety—have significant drawbacks that lead to high energy consumption, insufficient resource management efficiency, and even increased risk of emergency situations. Most traditional solutions are limited to mechanical or simple electronic systems that do not account for changing environmental conditions or human activity. This leads to excessive electricity consumption, which in turn increases operating costs and worsens environmental impact.

Problems of Traditional Lighting Systems

Low energy efficiency. Traditional lighting systems often operate on the principle of streetlights being constantly on, regardless of the level of natural light or the presence of people. This approach leads to excessive electricity

consumption, especially during the daytime or in poor weather conditions when natural light is entirely sufficient for illuminating the area. For example, in large industrial areas or park zones, lighting may remain on even in the absence of movement or when the sun is bright.

Lack of adaptation to environmental changes. Traditional systems cannot account for changes such as fluctuations in natural light levels depending on the time of day, weather conditions, or season. As a result, lighting may be excessive or, conversely, insufficient during certain periods. This can also affect safety, as there may be dark areas on the territory where there is insufficient light.

High operating costs. Many traditional lighting systems lack the ability to automatically adjust lighting levels based on real conditions, requiring manual adjustment or lamp replacement when they fail. This approach increases maintenance costs and necessitates frequent system checks.

Limited automation. Most traditional lighting systems operate on schemes where lighting is switched on and off according to a fixed schedule or manually. This does not allow for effective response to changes in environmental conditions or human activity, which creates additional difficulties in ensuring lighting reliability and safety.

Consequently, Intelligent Lighting Control is Necessary

To overcome these problems and improve the efficiency of outdoor lighting, there is a need for intelligent control. The idea behind intelligent lighting systems is to make the system more flexible and adaptable to changing conditions while simultaneously increasing energy efficiency and safety.

Adaptability to environmental changes. An intelligent lighting system can analyze the level of natural lighting, weather conditions, and time of day, allowing it to automatically adjust the intensity of artificial lighting according to real conditions. This makes it possible to reduce energy consumption during

periods when natural light is sufficient or by increasing brightness in low visibility conditions.

Energy savings. The use of motion sensors and light sensors, which automatically turn on lighting only when needed, can significantly reduce electricity costs. For example, the system can turn off lighting in areas where there is no movement and turn it on only when necessary. This allows for the most efficient use of energy resources, which is especially important for large industrial areas.

Ensuring safety and comfort. Intelligent systems can be configured to ensure a high level of safety in the area by providing adequate visibility in high-risk zones, for example, on crossings or in areas with heavy traffic. Automatic activation of lighting upon detection of movement or when the light level decreases at night allows creating comfortable conditions for people in the area.

Minimizing maintenance and costs. Intelligent lighting systems typically have self-diagnosis capabilities, allowing them to detect malfunctions or problems in system operation without the necessity for regular checks. Such systems can also automatically adjust lighting depending on the time of day or changing weather conditions, which significantly reduces the need for manual adjustment. As a result, maintenance costs are reduced, and system reliability is increased.

Ability to integrate with other systems. Intelligent lighting systems can be integrated with other automated management systems at enterprises, such as security systems or energy monitoring. This allows for comprehensive territory management, reducing infrastructure costs and increasing overall efficiency.

Thus, intelligent lighting control systems are a necessary condition for optimizing electricity costs, improving safety, and ensuring comfortable

conditions in industrial areas. They allow for automatic adaptation of lighting to changing conditions, reduce energy consumption, and minimize operating costs, which are important advantages compared to traditional lighting systems.

Another important aspect of traditional lighting systems is their dependence on outdated light sources, such as mercury and sodium lamps. Such sources have a limited service life, low luminous efficacy, and significant energy consumption. Furthermore, their disposal requires additional costs and can create environmental risks due to the presence of toxic substances.

Also, traditional systems often have centralized control, which complicates their modernization and adaptation to specific operating conditions. The lack of remote monitoring and diagnostic capabilities leads to the necessity for frequent checks, which increases maintenance costs.

The development of intelligent lighting systems solves these problems through the use of LED technologies, which are characterized by high efficiency, durability, and environmental safety. The integration of such systems with Internet of Things (IoT) and artificial intelligence (AI) technologies allows not only for optimizing energy consumption but also for real-time data analysis to further improve lighting control algorithms.

Thus, the implementation of modern lighting control systems opens up new opportunities for increasing energy efficiency, reducing operating costs, and increasing the level of automation of industrial facilities.

Another drawback is the lack of fault prediction mechanisms. Outdated systems cannot proactively warn of potential lamp failures or electrical network damage, which can lead to a sudden decrease in lighting levels and the necessity for urgent repairs. This is especially critical for industrial facilities where the absence of proper lighting can affect worker safety and equipment operability.

Modern intelligent lighting systems address these problems through flexible zonal control and the use of predictive analytics. Thanks to machine learning algorithms, they can identify patterns in light usage and optimize operating modes according to real needs. This not only reduces electricity costs but also contributes to reduced equipment wear and increased service life.

Another important problem with traditional lighting systems is the lack of scalability. When the area of a territory increases or the number of light points grows, the system requires complete reconfiguration or replacement of equipment, which is accompanied by significant financial and time costs. Intelligent systems, however, allow for flexible scaling of the infrastructure without significant changes in architecture, thanks to the use of modular approaches and wireless communication technologies.

Furthermore, traditional systems do not allow for detailed energy consumption accounting at the level of individual sections or luminaires. This complicates energy audits and the implementation of efficiency improvement measures. In contrast, intelligent lighting systems provide the ability for accurate monitoring and collection of statistical data in real time, which allows for prompt identification of inefficient zones and informed management decisions.

1.4 Conclusions

The analysis of existing outdoor lighting systems for industrial areas has revealed their main disadvantages: **fixed operating schedules, inefficient energy consumption, and the lack of automatic response to changing environmental conditions.** This leads to significant electricity costs, increased operating expenses, and a negative environmental impact.

The solution to these problems lies in **intelligent lighting control systems,** which use light sensors, motion sensors, and programmable algorithms to

automatically regulate the brightness of luminaires. Such systems can **reduce energy consumption, enhance safety, and optimize maintenance.**

An additional advantage is the **ability to integrate with other automated systems** of the enterprise and utilize **machine learning algorithms** for even more precise lighting control. This provides not only economic benefits but also environmental efficiency, contributing to **reduced CO₂ emissions** and the implementation of "green" technologies. The implementation of such systems is a **necessary step for modernizing lighting at industrial facilities.**

ДОДАТОК Б

**ГРАФІЧНІ МАТЕРІАЛИ ДО
КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
БАКАЛАВРА**

Міністерство освіти та науки України
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

Кафедра автоматики, електроніки та телекомунікацій

Синтез системи інтелектуального керування
зовнішнім освітленням виробничої території ТОВ
“ПОЛТАВВАГОН”

Кваліфікаційна робота бакалавра

Виконав:

Студент групи 201пМЕ2

Безботченко Д.Р.

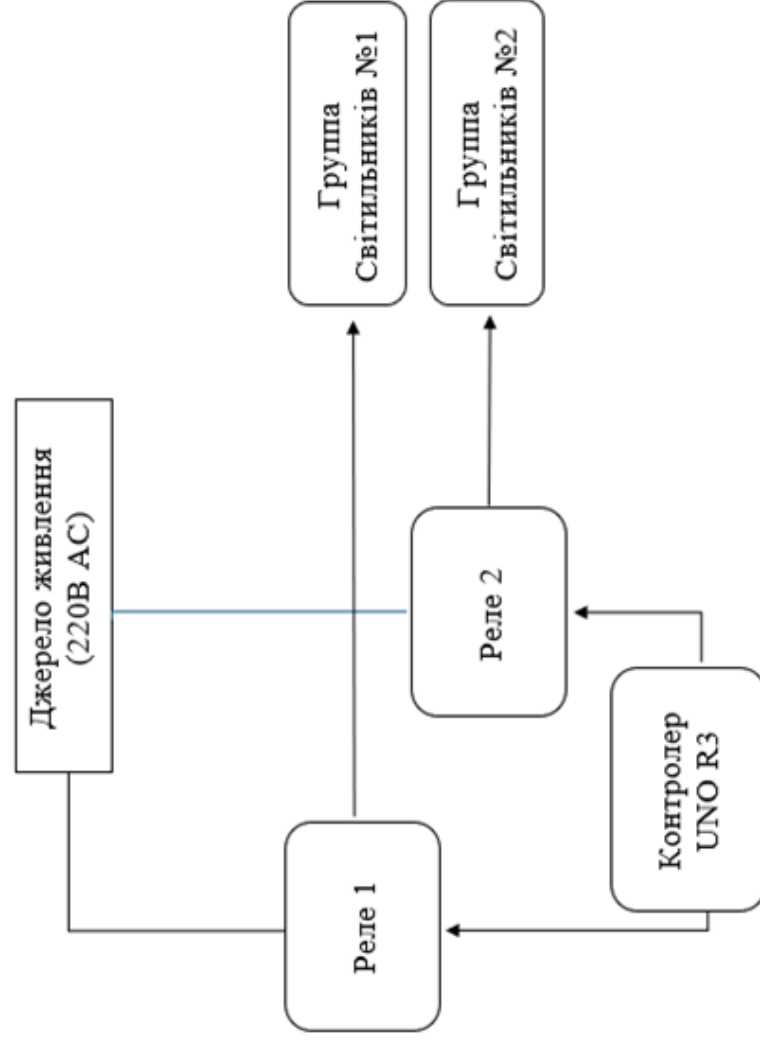
Керівник:

професор, д.т.н.

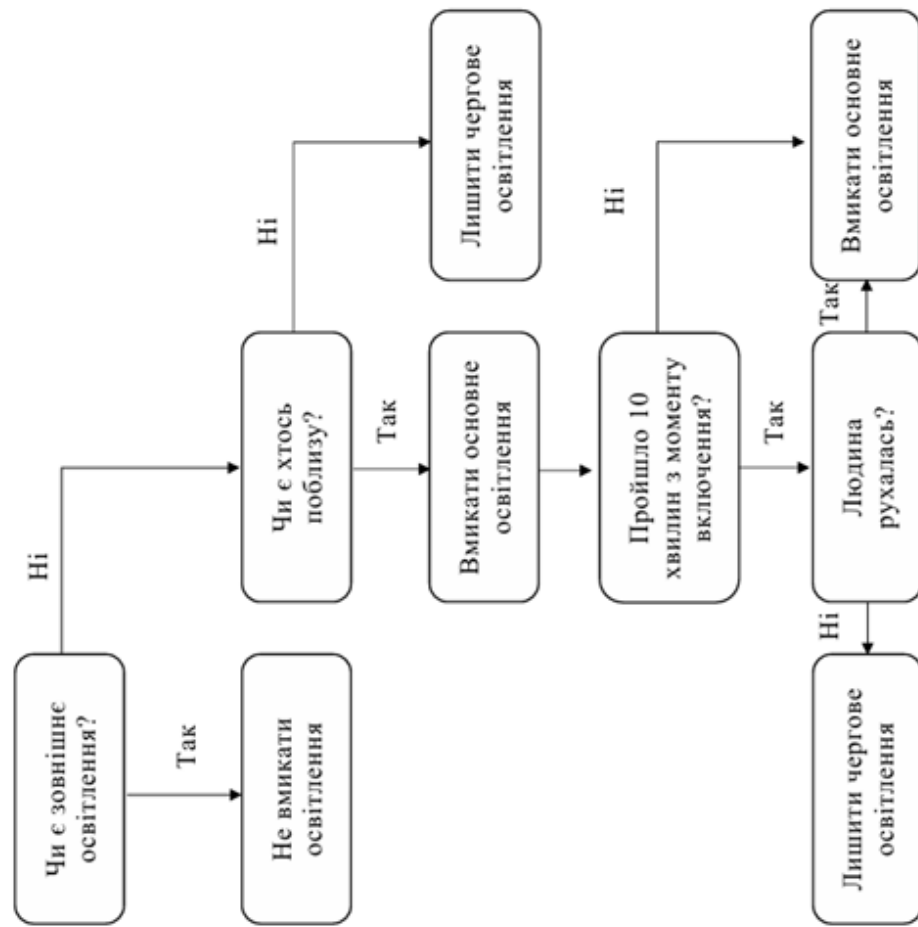
ЛЄВІ Л.І.

Полтава 2025

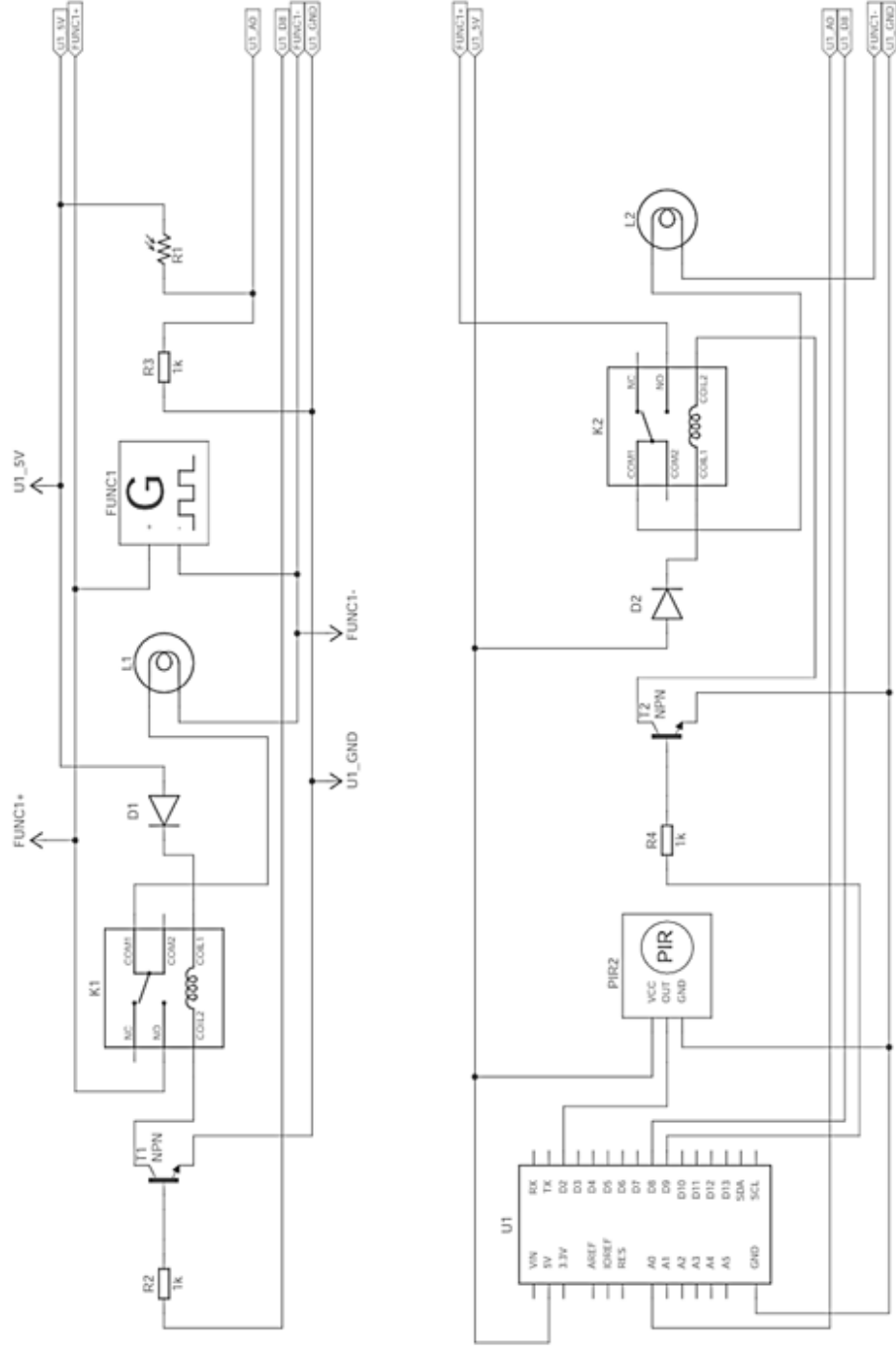
Схема системи комутації двох рівнів освітлення



Алгоритм керування зовнішнім освітленням виробничої території

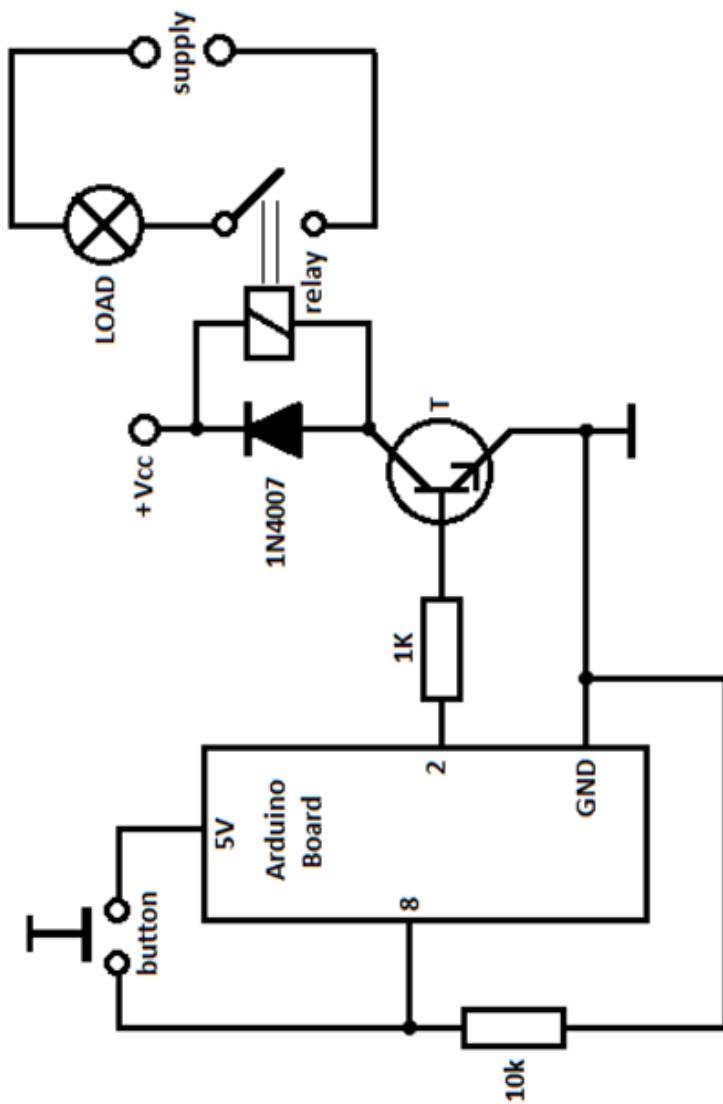


Структурна схема автоматизації освітлення виробничої території



7

Функціональна схема роботи реле



ДОДАТОК В

Код до контролеру «Arduino R3»

*Цей додаток містить опис програмного забезпечення мікроконтролера **Arduino R3**, що є центральним елементом розробленої системи інтелектуального керування зовнішнім освітленням виробничої території. Наведений нижче **псевдокод** ілюструє основні алгоритми та логіку роботи контролера, демонструючи принципи взаємодії з датчиками, виконавчими пристроями та бездротовою мережею.*

*Варто зазначити, що представлений псевдокод є узагальненим поданням функціоналу. У реальній програмній реалізації, він буде адаптований та розширений для врахування **конкретного графіка роботи виробничого підприємства**, оптимізації енергоспоживання, а також забезпечення можливості гнучкого налаштування розкладів освітлення через користувацький інтерфейс. Це включає підтримку різних змін, вихідних і святкових днів, а також можливість створення індивідуальних сценаріїв освітлення для різних зон території. Кінцевий програмний код, розроблений для прототипу, відображає ці розширені можливості, забезпечуючи максимальну ефективність та адаптивність системи до потреб виробничого середовища.*

«Початок коду»

```
// PIR датчик руху підключений до D2
// Фоторезистор підключений до A0

// Основне освітлення (реле) підключене до D8
// Додаткове (чергове) освітлення (реле) підключене до D9

// Змінна для збереження часу, до якого світло має бути
увімкнене
// Тривалість увімкнення після руху (10 хвилин = 600 000 мс)
```

```
// Встановлення піну PIR як вхід
// Встановлення піну фоторезистора як вхід
// Основне освітлення як вихід
// Додаткове освітлення як вихід

// Ініціалізація послідовного зв'язку

// Зчитування стану PIR датчика
// Зчитування освітленості з фоторезистора
// Поточний час

/ Вивід значень у серіальний монітор для налагодження

/ --- КЕРУВАННЯ ОСНОВНИМ ОСВІТЛЕННЯМ ---
// Перевірка низького рівня освітленості

    // Оновлення таймера увімкнення
    "Movement detected - timer extended");

// Увімкнути світло, якщо таймер ще активний

// Вимкнути світло, якщо таймер завершився

// Вимкнути світло при достатній освітленості
// Скидання таймера

/ --- КЕРУВАННЯ ДОДАТКОВИМ (ЧЕРГОВИМ) ОСВІТЛЕННЯМ ---
// Увімкнути чергове світло
```

```
// Вимкнути чергове світло
```

```
// Коротка затримка для стабільності циклу
```

«Кінець коду»

Пояснення до коду:

Програмний код, реалізований на базі мікроконтролера **Arduino Uno R3**, призначений для керування системою зовнішнього освітлення виробничої території на основі аналізу рівня освітленості та наявності руху. Система складається з двох каналів: **основного освітлення** (робочого) та **чергового освітлення**. Керування здійснюється за допомогою твердотільних реле, які вмикають або вимикають прожектори в залежності від ситуації.

У програмі використано:

- **PIR-датчик руху**, підключений до цифрового входу D2;
- **Фоторезистор**, підключений до аналогового входу A0;
- **Основне реле освітлення**, підключене до цифрового виходу D8;
- **Чергове реле освітлення**, підключене до цифрового виходу D9.

На етапі ініціалізації (`setup()`), усі пін-контакти налаштовуються відповідно до функціонального призначення: цифрові входи та виходи, а також відкривається серійний порт для виведення діагностичних повідомлень.

Основна логіка виконується у циклі `loop()`. Спочатку зчитуються значення з фоторезистора та PIR-датчика. Рівень освітленості представлений як аналогове значення в діапазоні 0–1023, де нижчі значення відповідають нижчій освітленості. Значення нижче порогового (≤ 200) інтерпретується як "темно".

Якщо фіксується **рух у темряві**, основне освітлення вмикається, і фіксується поточний час за допомогою функції `millis()`, яка повертає кількість мілісекунд від моменту запуску мікроконтролера. Після цього світло продовжує горіти протягом **10 хвилин** (600000 мс), навіть якщо нових подій руху не зафіксовано. При повторному русі таймер оновлюється — тобто світло знову залишиться увімкненим ще на 10 хвилин з моменту останнього виявлення руху.

Коли поточний час перевищує фіксований на момент останнього руху більш ніж на 10 хвилин, **основне освітлення вимикається**.

Чергове освітлення вмикається лише за умови, що:

- темно (тобто `sunlight <= 50`);
- руху не виявлено;
- основне освітлення вимкнене.

Це забезпечує постійне мінімальне підсвічування у нічний час, навіть коли руху немає, що важливо з точки зору безпеки та відеоспостереження.

Програма виводить у серійний монітор (через Serial.print) актуальні значення сенсорів та статус реле, що дозволяє оператору спостерігати за перебігом логіки в реальному часі та використовувати ці дані під час налагодження або демонстрації роботи.

Розроблений програмний код демонструє ефективну реалізацію інтелектуального керування зовнішнім освітленням з урахуванням освітленості та присутності людей на території. Завдяки використанню таймера, що підтримує основне освітлення увімкненим протягом 10 хвилин після останнього виявлення руху, забезпечується комфортне та енергозберігаюче освітлення.

Таке рішення дозволяє значно підвищити безпеку об'єкта, зменшити експлуатаційні витрати на електроенергію та продовжити термін служби освітлювального обладнання. Запропонована логіка є гнучкою та може бути легко масштабована або адаптована до інших об'єктів з подібними вимогами.

Впровадження цього програмного рішення є вагомим кроком у створенні сучасних автоматизованих систем керування енергоспоживанням на промислових територіях.