

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЧЕРКАСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ФАХОВИЙ БІЗНЕС-КОЛЕДЖ
Циклова комісія комп'ютерної інженерії та інформаційних технологій

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на тему
**СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ОСВІТЛЕННЯМ ЗА ДОПОМОГОЮ
РОЗПІЗНАВАННЯ ПРИСУТНОСТІ ЛЮДИНИ ЧЕРЕЗ КАМЕРУ**

Виконав: студент групи 2К-22

Спеціальності

123 Комп'ютерна інженерія

Артем ШЕЛЕГ

Керівник:

Дарина ЗЛОЧЕВСЬКА–КРАСНОЩОК

Черкаси 2026

ЧЕРКАСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ФАХОВИЙ БІЗНЕС-КОЛЕДЖ

Циклова комісія комп'ютерної інженерії та інформаційних технологій

Спеціальність 123 Комп'ютерна інженерія

Освітня програма Комп'ютерна інженерія

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувачка циклової комісії КІ та ІТ

_____ Наталя ФАЛЬЧЕНКО

(підпис)

«_____» 20__ р.

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Шелегу Артему Романовичу

1. Тема кваліфікаційної роботи Система управління освітленням за допомогою розпізнавання присутності людини через камеру

Керівник роботи Злочевська–Краснощок Дарина Семенівна, викладач

затверджені наказом закладу вищої освіти від «06» жовтня 2025 року №84/1-
У

2. Строк подання студентом кваліфікаційної роботи 08.06.2026

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи методи комп'ютерного зору для детекції людини, алгоритми Haar Cascades, HOG, SSD та YOLO, одноплатні комп'ютери Raspberry Pi, ESP32-CAM та NVIDIA Jetson, бібліотеки OpenCV та Ultralytics YOLO, наукові публікації з тематики Smart Home, автоматизації освітлення та енергоефективних систем.

4. Зміст кваліфікаційної роботи аналіз предметної області та вимог до систем автоматизованого керування освітленням (концепція Smart Home, методи комп'ютерного зору для детекції людини, аналіз апаратних платформ та програмних засобів); проектування системи управління освітленням (розроблення структурної, функціональної та алгоритмічної моделей системи, опис апаратної та програмної складових); оцінювання характеристик системи на основі літературних джерел (порівняння точності розпізнавання, швидкодії та енергоефективності систем подібного типу); формування висновків та рекомендацій щодо подальшого розвитку системи.

5. Дата видачі завдання 15.09.2025

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Терміни виконання етапів	Примітка про виконання
1	Вступ	14.10.2025	
2	Розділ 1 Порівняння методів та засобів організації систем розумного освітлення	09.12.2025	
3	Розділ 2 Проектування та програмна реалізація системи управління освітленням	10.03.2026	
4	Розділ 3 Експериментальне дослідження та тестування розробки	28.04.2026	
5	Висновки	12.05.2026	
6	Оформлення кваліфікаційної роботи (чистовий варіант)	26.05.2026	
7	Перевірка кваліфікаційної роботи на наявність ознак плагіату (за 10 днів до захисту)	02.06.2026	
8	Подання кваліфікаційної роботи на затвердження завідувачці циклової комісії (за 7 днів до захисту)	10.06.2026	

Студент

(підпис)

Артем ШЕЛЕГ

Керівник роботи

(підпис)

Дарина ЗЛОЧЕВСЬКА-КРАСНОЩОК

АНОТАЦІЯ

У кваліфікаційній роботі проведено аналіз сучасних систем розумного освітлення та методів комп'ютерного зору для детекції присутності людини. Досліджено алгоритми Haar Cascades, HOG, YOLO та SSD, а також обґрунтовано вибір апаратної платформи Raspberry Pi для реалізації проєкту.

Метою роботи є розробка енергоефективної системи автоматизованого керування освітленням на основі нейромережових моделей. У процесі проєктування розроблено структурну схему, вузол керування навантаженням через релейний модуль та програмний комплекс мовою Python із використанням бібліотек OpenCV та Ultralytics.

Обґрунтовано доцільність використання відеоаналітики як альтернативи традиційним датчикам руху для підвищення точності моніторингу та економії енергії. Результати експериментального дослідження підтвердили стабільність роботи алгоритмів за різних умов освітленості та високу швидкість реакції виконавчих пристроїв.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: РОЗУМНИЙ БУДИНОК, КОМП'ЮТЕРНИЙ ЗІР, RASPBERRY PI, YOLO, OPENCV, АВТОМАТИЗАЦІЯ ОСВІТЛЕННЯ, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, PYTHON.

ABSTRACT

The qualification work analyzes modern smart lighting systems and computer vision methods for human presence detection. Algorithms such as Haar Cascades, HOG, YOLO, and SSD are researched, and the choice of the Raspberry Pi hardware platform for project implementation is justified.

The goal of the work is to develop an energy-efficient automated lighting control system based on neural network models. During the design process, a structural diagram, a load control unit via a relay module, and a Python software complex using OpenCV and Ultralytics libraries were developed.

The feasibility of using video analytics as an alternative to traditional motion sensors to improve monitoring accuracy and energy savings is justified. Experimental testing results confirmed the stability of the algorithms under various lighting conditions and the high response speed of the actuators.

KEYWORDS: SMART HOME, COMPUTER VISION, RASPBERRY PI, YOLO, OPENCV, LIGHTING AUTOMATION, ENERGY EFFICIENCY, PYTHON.

ЗМІСТ

ВСТУП	3
РОЗДІЛ 1 ПОРІВНЯННЯ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ОРГАНІЗАЦІЇ СИСТЕМ РОЗУМНОГО ОСВІТЛЕННЯ.....	5
1.1 Огляд сучасних систем автоматизації освітлення та технологій Smart Home	5
1.2 Порівняння методів комп'ютерного зору для детекції присутності людини	7
1.3 Огляд апаратних платформ для реалізації системи.....	9
1.4 Обґрунтування вибору апаратного та програмного забезпечення для реалізації проєкту	12
РОЗДІЛ 2 ПРОЄКТУВАННЯ ТА ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ОСВІТЛЕННЯМ.....	15
2.1. Розробка структурної та функціональної схем системи.	15
2.2. Проєктування апаратної частини: схема підключення камери та виконавчих механізмів до керуючого контролера.	18
2.3 Розробка алгоритму роботи системи та логіки прийняття рішень	22
2.4 Програмна реалізація модуля розпізнавання та керування GPIO-інтерфейсами	27
РОЗДІЛ 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ТЕСТУВАННЯ РОЗРОБКИ.....	32
3.1 Опис умов проведення експерименту та методика тестування	32
3.2 Порівняння точності розпізнавання людини в різних умовах освітлення та на різних відстанях.....	35
3.3 Порівняння швидкодії системи	37
3.4 Оцінка енергоефективності впровадженого рішення	40
ВИСНОВКИ.....	45
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	47

ВСТУП

Актуальність теми «Система управління освітленням за допомогою розпізнавання присутності людини через камеру» зумовлена стрімким розвитком технологій інтелектуальної автоматизації, зростанням вартості енергоресурсів та необхідністю впровадження високоефективних енергозберігаючих рішень у побутову та промислову сфери. У сучасному світі цифровізація простору – від приватних осель до великих офісних центрів – потребує систем, що забезпечують безперервний моніторинг та адаптивне управління ресурсами без прямого втручання людини.

Метою дослідження є порівняння та обґрунтування підходів до побудови системи управління освітленням на основі методів комп'ютерного зору для визначення присутності людини та раціонального використання електроенергії.

Для досягнення поставленої мети вважатимемо за необхідне вирішення наступних завдань:

- проаналізувати сучасні системи Smart Home та автоматизації освітлення;
- порівняти методи комп'ютерного зору для детекції присутності людини;
- виконати порівняльний аналіз апаратних платформ для реалізації системи;
- сформувану структурну, функціональну та алгоритмічну модель системи;
- оцінити точність, швидкодію та енергоефективність системи на основі літературних джерел.

Аналіз наукових джерел та існуючих технологічних рішень щодо даної теми показав важливість та доцільність дослідження, що обумовлено наступними викликами сьогодення:

1. Недосконалість існуючих сенсорів. Традиційні PIR-датчики (інфрачервоні датчики руху) мають суттєвий недолік – вони не розрізняють присутність людини у статичному стані. Використання відеоаналітики дозволяє системі «бачити» людину навіть за відсутності активного руху, що усуває помилкові вимкнення світла.

2. Зростання вимог до енергоефективності. В умовах енергетичної кризи автоматичне вимкнення освітлення у порожніх зонах стає не просто зручністю, а економічною необхідністю. Інтелектуальне управління дозволяє мінімізувати втрати енергії на 30–50%.
3. Потреба в адаптивному середовищі. Сучасні системи мають не лише вмикати світло, а й адаптуватися до контексту приміщення. Камера, на відміну від простого датчика, може бути використана для додаткового аналізу (кількість людей, зональність), що підвищує якість сервісів Smart Home.
4. Розвиток доступних ІІІ-технологій. Поява компактних одноплатних комп'ютерів (наприклад, Raspberry Pi) та оптимізованих неймереж (YOLOv8) робить впровадження складних алгоритмів розпізнавання доступним для масового сегмента, а не лише для дорогих промислових рішень.
5. Безпека та інтеграція. Камера в системі управління освітленням може паралельно виконувати функції охоронної детекції, що забезпечує мультифункціональність та прозорість аудиту перебування осіб у приміщенні.

Об'єктом дослідження є процес автоматизованого керування електричним навантаженням (освітленням) у закритих приміщеннях.

Предметом дослідження є методи розпізнавання образів та програмно-апаратні засоби детекції присутності для комутації навантаження.

У сучасних умовах методи розпізнавання присутності через камеру стають важливою складовою ефективного управління ІТ-інфраструктурою будівель. Їх впровадження дозволяє підвищити рівень комфорту, забезпечити безперервність роботи сервісів та суттєво зменшити експлуатаційні витрати. Саме тому ця тема має високу наукову та практичну цінність і залишається актуальною для дослідження.

РОЗДІЛ 1 ПОРІВНЯННЯ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ОРГАНІЗАЦІЇ СИСТЕМ РОЗУМНОГО ОСВІТЛЕННЯ

1.1 Огляд сучасних систем автоматизації освітлення та технологій Smart Home

Сучасний розвиток інформаційних технологій сприяв активному впровадженню концепції розумного будинку (Smart Home), яка передбачає інтеграцію різноманітних пристроїв та систем для автоматизованого управління житловим або комерційним простором. Однією з ключових складових таких систем є автоматизація освітлення, що забезпечує підвищення рівня комфорту користувачів, оптимізацію енергоспоживання та покращення безпеки приміщень [1].

Системи автоматизації освітлення можуть реалізовувати різні сценарії роботи залежно від умов експлуатації. До основних сценаріїв належать: автоматичне вмикання світла при виявленні руху, регулювання яскравості залежно від рівня природного освітлення, дистанційне керування через мобільні додатки, а також створення індивідуальних сценаріїв освітлення для різних зон приміщення.

Важливим аспектом є інтеграція систем освітлення з іншими підсистемами розумного будинку, такими як системи безпеки, клімат-контролю та відеоспостереження. Це дозволяє створити єдину інтелектуальну екосистему, яка адаптується до поведінки користувачів та змін навколишнього середовища.

Крім того, сучасні системи підтримують можливість централізованого або хмарного управління, що дозволяє контролювати освітлення віддалено через інтернет. Це особливо актуально для комерційних об'єктів, де необхідно забезпечити контроль за енергоспоживанням у великих приміщеннях.

Системи автоматизованого освітлення являють собою комплекс апаратних і програмних засобів, які дозволяють керувати джерелами світла без безпосереднього втручання людини. Управління може здійснюватися за різними сценаріями: за часом (таймери), за подіями (датчики руху, освітленості),

дистанційно (через мобільні додатки або веб-інтерфейси), а також на основі аналізу поведінки користувачів [2].

Основною метою впровадження таких систем є підвищення енергоефективності. Згідно з дослідженнями, автоматизоване керування освітленням дозволяє зменшити споживання електроенергії до 30–50% за рахунок виключення роботи освітлювальних приладів у порожніх приміщеннях або при достатньому рівні природного освітлення [3].

Системи Smart Home можуть бути класифіковані за способом організації управління на централізовані та децентралізовані. У централізованих системах всі пристрої підключаються до єдиного контролера, який здійснює обробку даних та прийняття рішень. Такий підхід забезпечує високий рівень керованості, але має залежність від одного вузла. У децентралізованих системах кожен пристрій може працювати автономно, взаємодіючи з іншими через мережу, що підвищує надійність системи, але ускладнює її налаштування [4].

Для реалізації систем автоматизації освітлення використовуються різноманітні протоколи зв'язку, серед яких найбільш поширеними є Wi-Fi, ZigBee, Bluetooth та Z-Wave. Протокол Wi-Fi забезпечує високу швидкість передачі даних і простоту інтеграції з інтернет-сервісами, однак має підвищене енергоспоживання. ZigBee та Z-Wave характеризуються низьким енергоспоживанням і можливістю побудови mesh-мереж, що дозволяє створювати масштабовані системи з великою кількістю пристроїв [5].

Найбільш поширеними елементами систем автоматизації освітлення є датчики руху (PIR), датчики освітленості, контролери, релейні модулі та димери. Датчики руху широко застосовуються для виявлення присутності людини, однак мають ряд обмежень, зокрема низьку точність при відсутності руху та схильність до помилкових спрацювань [6]. Це обмежує їх ефективність у сучасних інтелектуальних системах.

Альтернативним підходом є використання технологій комп'ютерного зору, які дозволяють здійснювати більш точне визначення присутності людини за допомогою аналізу відеопотоку. Такі системи здатні враховувати складніші

сценарії поведінки, розпізнавати об'єкти та адаптувати роботу освітлення відповідно до реальних умов середовища [7].

Сучасні рішення у сфері Smart Home активно інтегруються з хмарними сервісами та системами штучного інтелекту, що дозволяє реалізувати адаптивні сценарії управління освітленням. Наприклад, система може враховувати час доби, присутність користувачів, рівень природного освітлення та навіть індивідуальні уподобання мешканців [8].

Таким чином, сучасні системи автоматизації освітлення є важливою складовою інтелектуальних будівель, що забезпечують підвищення комфорту, енергоефективності та безпеки. Водночас традиційні підходи, засновані на використанні датчиків руху, мають обмеження, що обґрунтовує необхідність застосування більш сучасних технологій, зокрема комп'ютерного зору, які розглядаються у наступному підрозділі.

1.2 Порівняння методів комп'ютерного зору для детекції присутності людини

Одним із ключових елементів сучасних інтелектуальних систем автоматизації є використання методів комп'ютерного зору (Computer Vision) для аналізу зображень та відеопотоку з метою виявлення об'єктів, зокрема людини. На відміну від традиційних сенсорів, таких як інфрачервоні датчики руху (PIR), методи комп'ютерного зору забезпечують більш точне визначення присутності людини, включаючи випадки її статичного положення [7].

Комп'ютерний зір базується на алгоритмах обробки зображень та машинного навчання, які дозволяють системі інтерпретувати візуальну інформацію. У задачах детекції людини найчастіше використовуються класичні алгоритми (Haar Cascades, HOG) та сучасні методи глибинного навчання (YOLO, SSD) [9].

Метод Haar Cascades є одним із перших ефективних алгоритмів для виявлення об'єктів у зображенні. Він базується на використанні простих ознак та каскадних класифікаторів, що дозволяє швидко обробляти зображення [10].

Основною перевагою цього методу є висока швидкість роботи та низькі вимоги до обчислювальних ресурсів, що робить його придатним для використання на малопотужних пристроях. Водночас його точність суттєво знижується при зміні умов освітлення, положення об'єкта або наявності складного фону.

Метод HOG (Histogram of Oriented Gradients) базується на аналізі градієнтів зображення та їх орієнтації. Він дозволяє виділяти контури об'єктів, що підвищує точність детекції людини порівняно з Haar Cascades [11]. Однак цей метод потребує більше обчислювальних ресурсів і працює повільніше, а також має обмеження при роботі у складних сценах.

Сучасні підходи до детекції об'єктів базуються на використанні глибинного навчання. Одним із найефективніших алгоритмів є YOLO (You Only Look Once), який дозволяє виконувати детекцію об'єктів у реальному часі [12]. Його особливістю є обробка всього зображення за один прохід нейронної мережі, що забезпечує високу швидкість роботи та точність. Алгоритм здатний одночасно визначати декілька об'єктів та їх координати, що є важливим для систем автоматизації.

Метод SSD (Single Shot Detector) також належить до алгоритмів глибинного навчання та забезпечує високу точність детекції об'єктів [13]. Він аналізує зображення на різних масштабах, що дозволяє ефективно виявляти об'єкти різного розміру. Проте у деяких випадках SSD поступається YOLO за швидкодією.

Для обґрунтування вибору алгоритму було проведено порівняльний аналіз основних характеристик методів детекції людини «див. табл. 1.1».

Таблиця 1.1 – Порівняння методів детекції людини

Метод	Точність	Швидкість	Вимоги до ресурсів	Стійкість до умов
Haar Cascades	Низька	Висока	Низькі	Низька
HOG	Середня	Середня	Середні	Середня
SSD	Висока	Висока	Високі	Висока
YOLO	Дуже висока	Дуже висока	Середні/високі	Дуже висока

Додатково слід зазначити, що класичні методи комп'ютерного зору потребують ручного налаштування параметрів та значною мірою залежать від умов середовища. У той час як сучасні нейромережеві алгоритми здатні адаптуватися до різних умов освітлення, змін ракурсу та складних сцен без необхідності суттєвого переналаштування.

Також важливою перевагою нейромережевих моделей є можливість подальшого навчання та вдосконалення на нових даних, що дозволяє підвищувати точність роботи системи з часом.

Аналіз результатів показує, що класичні методи мають обмежену ефективність у реальних умовах, особливо при зміні освітлення та складному фоні. Методи глибинного навчання демонструють значно кращі результати за точністю та універсальністю. Найбільш оптимальним рішенням є використання алгоритму YOLO, який забезпечує найкраще співвідношення швидкості та точності, що є критично важливим для систем реального часу.

Таким чином, застосування сучасних методів комп'ютерного зору дозволяє значно підвищити ефективність систем управління освітленням у порівнянні з традиційними підходами, що підтверджує доцільність їх використання у даному проєкті.

1.3 Огляд апаратних платформ для реалізації системи

Для реалізації системи автоматизованого управління освітленням із використанням комп'ютерного зору необхідно обрати апаратну платформу, яка забезпечить достатню обчислювальну потужність для обробки відеопотоку в режимі реального часу, а також підтримку периферійних пристроїв, таких як камери, реле та сенсори.

Сучасний ринок пропонує широкий спектр платформ для вбудованих систем, серед яких найбільш поширеними є одноплатні комп'ютери та мікроконтролери з підтримкою камер. У даному дослідженні розглянуто три популярні рішення: Raspberry Pi, ESP32-CAM та NVIDIA Jetson.

Raspberry Pi є одноплатним комп'ютером, що широко використовується у проєктах автоматизації та Internet of Things. Він підтримує повноцінну операційну систему на базі Linux, має достатню обчислювальну потужність та широкий набір інтерфейсів, включаючи GPIO, USB, HDMI та CSI для підключення камери [14]. Основними перевагами Raspberry Pi є підтримка бібліотек комп'ютерного зору, таких як OpenCV і TensorFlow, можливість роботи з неймережами, велика кількість готових програмних рішень та зручність розробки. До недоліків можна віднести відносно вище енергоспоживання у порівнянні з мікроконтролерами.

ESP32-CAM є мікроконтролером з вбудованим модулем камери, що орієнтований на бюджетні IoT-рішення. Він характеризується низькою вартістю, малим енергоспоживанням та компактними розмірами [15]. Пристрій підтримує бездротові технології Wi-Fi та Bluetooth, що дозволяє легко інтегрувати його у мережеві системи. Однак ESP32-CAM має обмежену обчислювальну потужність, що значно ускладнює реалізацію складних алгоритмів комп'ютерного зору, особливо на основі нейронних мереж.

Платформи NVIDIA Jetson, зокрема Jetson Nano та Jetson Xavier, призначені для задач штучного інтелекту та комп'ютерного зору. Вони оснащені графічними процесорами, що дозволяє ефективно виконувати обчислення нейронних мереж у режимі реального часу [16]. Основними перевагами є висока продуктивність, підтримка технологій CUDA та TensorRT, а також можливість обробки відео високої якості. Водночас такі платформи мають високу вартість і значне енергоспоживання, що робить їх менш доцільними для побутових систем автоматизації.

Для обґрунтування вибору апаратної платформи було проведено порівняльний аналіз основних характеристик «див. табл. 1.2».

Таблиця 1.2 – Порівняння апаратних платформ

Платформа	Продуктивність	Енергоспоживання	Вартість	Підтримка AI	Складність реалізації
ESP32-CAM	Низька	Дуже низьке	Дуже низька	Обмежена	Висока
Raspberry Pi	Середня	Середнє	Середня	Повна	Низька
NVIDIA Jetson	Висока	Високе	Висока	Повна	Середня

З аналізу наведених характеристик можна зробити висновок, що ESP32-CAM підходить лише для простих задач, де не потрібна складна обробка зображень. NVIDIA Jetson забезпечує максимальну продуктивність, однак є економічно недоцільним для задач управління освітленням. Raspberry Pi, у свою чергу, забезпечує оптимальний баланс між продуктивністю, вартістю та енергоспоживанням, що робить його найбільш придатним для реалізації даного проєкту.

Таким чином, для подальшої реалізації системи доцільно використовувати платформу Raspberry Pi, яка дозволяє ефективно реалізувати алгоритми комп'ютерного зору та забезпечити стабільну роботу системи у реальному часі.

Важливим фактором при виборі апаратної платформи є також масштабованість системи. У разі необхідності розширення функціоналу, наприклад додавання нових камер або інтеграції з іншими пристроями Smart Home, обрана платформа повинна забезпечувати достатній запас продуктивності.

Крім того, необхідно враховувати простоту програмної реалізації та наявність документації. Платформи з широкою підтримкою спільноти розробників значно спрощують процес розробки, тестування та впровадження системи.

1.4 Обґрунтування вибору апаратного та програмного забезпечення для реалізації проєкту

На основі проведеного аналізу сучасних методів комп'ютерного зору та апаратних платформ було здійснено вибір оптимального програмного та апаратного забезпечення для реалізації системи управління освітленням.

В якості апаратної платформи обрано одноплатний комп'ютер Raspberry Pi, що обумовлено його достатньою обчислювальною потужністю для обробки відеопотоку в режимі реального часу, підтримкою сучасних бібліотек комп'ютерного зору, а також доступною вартістю та широкими можливостями інтеграції з периферійними пристроями через GPIO-інтерфейси [14]. На відміну від ESP32-CAM, дана платформа дозволяє реалізувати складні алгоритми розпізнавання на основі нейронних мереж, а у порівнянні з NVIDIA Jetson є більш економічно доцільною для задач автоматизації освітлення.

Для реалізації функції детекції присутності людини обрано алгоритм YOLO (You Only Look Once), який показав найкращі результати за співвідношенням швидкості та точності серед розглянутих методів комп'ютерного зору [12]. Використання сучасних версій алгоритму, таких як YOLOv5 або YOLOv8, дозволяє здійснювати обробку відео в реальному часі навіть на пристроях із обмеженими ресурсами.

В якості програмного середовища обрано мову програмування Python, що обумовлено її широким застосуванням у сфері обробки зображень та штучного інтелекту. Для реалізації алгоритмів комп'ютерного зору використано бібліотеку OpenCV, яка забезпечує ефективні інструменти для роботи з відеопотоком, попередньої обробки зображень та інтеграції з іншими модулями [9]. Для роботи з нейронними мережами застосовано бібліотеки Ultralytics YOLO та TensorFlow, які дозволяють швидко інтегрувати сучасні моделі детекції об'єктів у прикладні системи [17].

Управління освітленням реалізується за допомогою GPIO-інтерфейсів Raspberry Pi, що дозволяє керувати виконавчими пристроями, такими як релейні

модулі або димери. Це забезпечує просту та надійну комутацію електричного навантаження відповідно до результатів розпізнавання.

Таким чином, обрана комбінація апаратного та програмного забезпечення забезпечує оптимальний баланс між продуктивністю, точністю, енергоефективністю та вартістю реалізації системи. Вона дозволяє ефективно вирішувати задачу автоматизованого управління освітленням на основі аналізу відеоданих у реальному часі.

Висновки до розділу 1

У першому розділі кваліфікаційної роботи було проведено комплексний аналіз сучасних систем автоматизації освітлення та технологій Smart Home, методів комп'ютерного зору для детекції присутності людини, а також апаратних платформ для реалізації подібних систем.

Встановлено, що сучасні системи розумного освітлення є важливою складовою інтелектуальних будівель, оскільки забезпечують підвищення комфорту користувачів, оптимізацію енергоспоживання та автоматизацію процесів керування. Водночас традиційні рішення, що базуються на використанні датчиків руху, мають обмеження, пов'язані з низькою точністю визначення присутності людини, особливо у випадках її статичного положення.

Проведений аналіз методів комп'ютерного зору показав, що класичні алгоритми, такі як Haar Cascades та HOG, мають обмежену ефективність у складних умовах середовища. Натомість сучасні методи глибинного навчання, зокрема YOLO та SSD, забезпечують значно вищу точність, швидкість роботи та стійкість до змін освітлення і фону. Найбільш доцільним для реалізації системи детекції людини визначено алгоритм YOLO, який дозволяє здійснювати обробку відеопотоку в режимі реального часу.

Аналіз апаратних платформ показав, що мікроконтролери типу ESP32-CAM є придатними лише для простих задач через обмежені обчислювальні ресурси, тоді як платформи NVIDIA Jetson забезпечують високу продуктивність, але є економічно недоцільними для задач автоматизації освітлення. Найбільш

оптимальним варіантом визначено платформу Raspberry Pi, яка забезпечує достатню продуктивність, доступну вартість та підтримку необхідного програмного забезпечення.

У результаті проведеного дослідження обґрунтовано вибір апаратного та програмного забезпечення для реалізації системи управління освітленням. Визначено, що використання Raspberry Pi у поєднанні з алгоритмом YOLO та бібліотеками OpenCV і TensorFlow дозволяє створити ефективну, енергоощадну та функціональну систему автоматизованого керування освітленням.

РОЗДІЛ 2 ПРОЄКТУВАННЯ ТА ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ОСВІТЛЕННЯМ

2.1. Розробка структурної та функціональної схем системи.

Для відображення загальної архітектури системи управління освітленням було розроблено структурну схему.. Під час її побудови враховано підходи до організації smart-lighting систем на базі Raspberry Pi та камерного модуля, наведені в сучасних науково-технічних джерелах [18, 19].

Згідно зі структурною схемою, центральним елементом системи є одноплатний комп'ютер Raspberry Pi, який виконує функції керуючого контролера. До нього підключається камера, що забезпечує захоплення відеопотоку з контрольованої зони. Отримані зображення надходять до модуля розпізнавання присутності, де за допомогою алгоритмів комп'ютерного зору виконується виявлення людини в кадрі.

Після обробки відеоданих результати детекції передаються до модуля керування GPIO-інтерфейсами. Даний модуль формує керуючі сигнали для виконавчого пристрою. Як виконавчий елемент у системі використовується релейний модуль або димер, який забезпечує комутацію освітлювального пристрою. Наявність реле дозволяє реалізувати вмикання та вимикання світла, а використання димера додатково дає можливість регулювати рівень яскравості.

Окремим елементом структурної схеми є блок живлення, який забезпечує електроживлення керуючого контролера та периферійних модулів. Усі складові системи взаємодіють між собою як єдиний програмно-апаратний комплекс, що дозволяє реалізувати автоматизоване управління освітленням у режимі реального часу.

Таким чином, структурна схема відображає склад основних вузлів системи та зв'язки між ними. Вона є основою для подальшого розроблення функціональної схеми, апаратної частини та алгоритму роботи системи «див. рис. 2.1».



Рисунок 2.1 – Структурна схема системи управління освітленням

Функціональна схема системи управління освітленням наведена на рис. 2.2. Вона відображає послідовність основних функціональних етапів обробки даних та формування керуючого впливу на освітлювальний пристрій. Функціональну схему системи сформовано на основі підходів до побудови систем інтелектуального освітлення та комп'ютерного зору, наведених у [18, 19].

На першому етапі здійснюється захоплення відеопотоку з камери, встановленої у контрольованій зоні. Отримані кадри передаються до модуля попередньої обробки, де виконуються базові операції підготовки зображення до подальшого аналізу. До таких операцій можуть належати зміна розміру кадру, нормалізація, перетворення формату зображення та інші процедури, необхідні для стабільної роботи алгоритму розпізнавання.

Наступним етапом є детекція присутності людини. На цьому етапі система виконує аналіз відеокадру із застосуванням алгоритму комп'ютерного зору, в результаті чого визначається наявність або відсутність людини в зоні

спостереження. Отримані результати надходять до блоку аналізу, де здійснюється інтерпретація даних розпізнавання для прийняття подальшого рішення.

Після аналізу результатів формується керуючий сигнал, який передається до модуля керування реле або димером. Даний модуль забезпечує безпосередній вплив на виконавчий пристрій, унаслідок чого відбувається вмикання або вимикання освітлення. У разі використання димера також може реалізовуватися регулювання рівня яскравості освітлювального пристрою.

Таким чином, функціональна схема відображає логіку проходження інформації в системі від моменту отримання відеоданих до формування сигналу керування освітленням. Вона є основою для подальшого розроблення алгоритму роботи системи та програмної реалізації її окремих модулів «див. рис. 2.2».

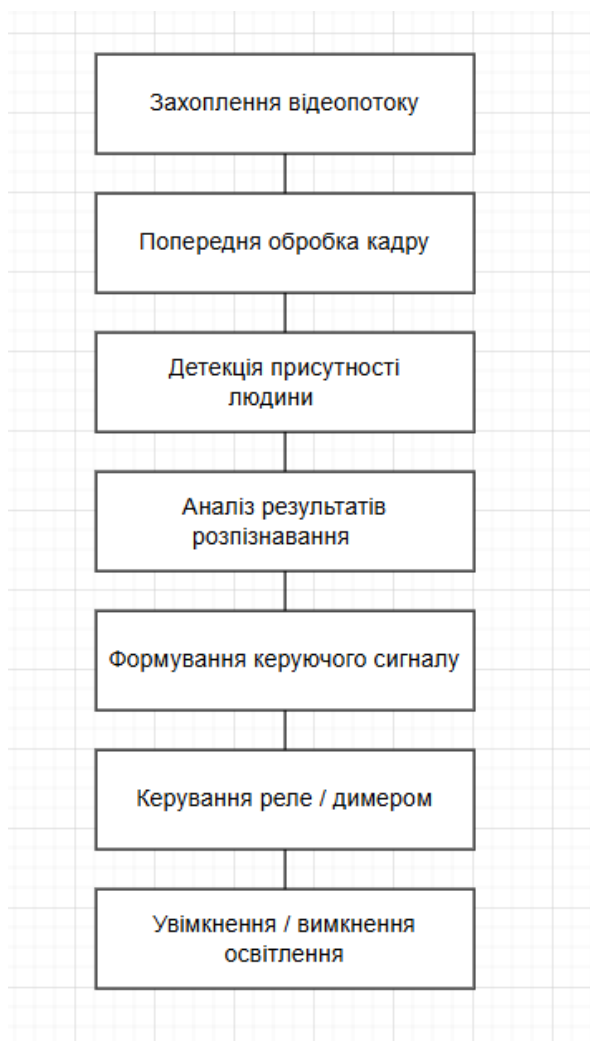


Рисунок 2.2 – Функціональна схема системи управління освітленням

Таким чином, функціональна схема відображає логіку проходження інформації в системі від моменту отримання відеоданих до формування сигналу керування освітленням. Вона є основою для подальшого розроблення алгоритму роботи системи та програмної реалізації її окремих модулів.

2.2. Проєктування апаратної частини: схема підключення камери та виконавчих механізмів до керуючого контролера.

Проєктування апаратної частини системи управління освітленням є важливим етапом розробки, оскільки саме апаратна складова забезпечує фізичну взаємодію між модулем відеоспостереження, обчислювальним вузлом та виконавчими пристроями, які безпосередньо керують освітленням. Від правильності вибору компонентів і способу їх підключення залежить стабільність роботи всієї системи, швидкість реагування на появу людини в кадрі, а також безпечність експлуатації обладнання.

Основу апаратної частини розроблюваної системи становить одноплатний комп'ютер Raspberry Pi, який виконує функції центрального керуючого контролера. Використання даної платформи обумовлене її достатньою продуктивністю для обробки відеопотоку в режимі реального часу, підтримкою сучасних бібліотек комп'ютерного зору, а також наявністю GPIO-інтерфейсів, що дозволяють реалізувати керування зовнішніми виконавчими пристроями. Raspberry Pi поєднує в собі функції мікрокомп'ютера та контролера, що є зручним для створення компактної системи автоматизації [18].

До Raspberry Pi підключається камера, яка використовується для захоплення відеозображення з контрольованої зони. Саме камера є первинним джерелом даних для системи комп'ютерного зору. У найпростішому випадку може використовуватися USB-камера, яка підключається до одного з USB-портів Raspberry Pi. Також можливе застосування камерного модуля Raspberry Pi Camera Module, який підключається через інтерфейс CSI. Використання інтерфейсу CSI є більш доцільним у випадку, якщо потрібна стабільна передача

відеоданих із мінімальними затримками, тоді як USB-камера є простішим і доступнішим варіантом для практичної реалізації системи.

Після підключення камери Raspberry Pi отримує відеопотік і виконує його програмну обробку. Проте безпосередньо керувати лампою або іншим освітлювальним пристроєм через GPIO-виводи неможливо, оскільки GPIO працюють із низьковольтними логічними сигналами, тоді як освітлювальні мережі зазвичай використовують напругу 220 В змінного струму. Саме тому між контролером і навантаженням необхідно застосовувати виконавчий пристрій, який буде виконувати функцію комутації силового кола.

У якості виконавчого пристрою в системі може використовуватися релейний модуль або димер. Релейний модуль застосовується тоді, коли необхідно реалізувати просте вмикання і вимикання освітлення. Принцип його роботи полягає в тому, що при подачі логічного сигналу з GPIO-виводу Raspberry Pi реле змінює стан своїх контактів, у результаті чого коло живлення лампи замикається або розмикається. Це дозволяє автоматично керувати освітлювальним пристроєм без прямого підключення мережевої напруги до самого контролера.

Типовий релейний модуль має три контакти з боку логічної частини: VCC, GND та IN. Контакт VCC використовується для подачі живлення на модуль, GND – для підключення до загального проводу системи, а IN є керуючим входом, на який подається сигнал з GPIO-виводу Raspberry Pi. У даній системі доцільно використовувати один із стандартних GPIO-выводів, наприклад GPIO17, хоча за потреби може бути обраний будь-який інший вільний вивід.

З боку силової частини реле має контакти COM (загальний), NO (нормально розімкнутий) та іноді NC (нормально замкнутий). Для задачі автоматичного керування освітленням найчастіше використовується пара COM–NO, оскільки в такому випадку лампа в нормальному стані залишається вимкненою, а вмикається лише тоді, коли реле отримує сигнал від контролера. Така схема є безпечнішою та більш логічною для систем енергоощадного освітлення.

У разі якщо необхідно реалізувати не лише дискретне керування, а й плавне регулювання яскравості світла, замість релейного модуля може бути використаний димер. Використання димера розширює функціональні можливості системи, оскільки дозволяє адаптувати рівень освітлення до умов середовища, часу доби або сценарію використання приміщення. Проте в такому випадку схема стає складнішою, а для керування може знадобитися PWM-сигнал або спеціалізований модуль сумісний із Raspberry Pi.

Живлення апаратної частини системи також потребує окремого розгляду. Raspberry Pi, як правило, живиться від стабілізованого джерела 5 В постійного струму. Камера, якщо вона підключена через USB або CSI, зазвичай отримує живлення безпосередньо від Raspberry Pi. Релейний модуль залежно від моделі також може живитися від 5 В або 3,3 В. При цьому слід обов'язково враховувати допустимі струмові навантаження GPIO-виводів, щоб не допустити пошкодження контролера.

Особливу увагу при проектуванні апаратної частини необхідно приділити питанням електробезпеки. Оскільки система містить силове коло 220 В, пряме з'єднання з низьковольтною логічною частиною є неприпустимим. Для безпечної роботи рекомендується використовувати релейні модулі з оптронною розв'язкою. Наявність оптрона дозволяє електрично ізолювати Raspberry Pi від силового кола, що значно знижує ризик виходу обладнання з ладу у випадку перенапруги, короткого замикання або інших аварійних режимів. Крім того, при монтажі слід забезпечити правильну ізоляцію всіх контактів, що працюють із мережевою напругою.

Схему підключення апаратних компонентів системи наведено на рис. 2.3. Вона подана за матеріалами джерела [18] і відображає загальний принцип з'єднання камери, Raspberry Pi, релейного модуля та освітлювального навантаження. Дана схема використана як приклад організації апаратної частини системи. Для розроблюваного пристрою застосовано аналогічний принцип підключення основних компонентів із урахуванням обраної конфігурації обладнання та вимог безпечної експлуатації.

На рис. 2.3 видно, що камера підключається до контролера та забезпечує передачу даних для аналізу зображення. Raspberry Pi виступає центральним вузлом системи, який одночасно виконує обробку відеоданих і формує сигнал керування для реле. Релейний модуль з'єднує логічну частину системи з освітлювальним навантаженням і забезпечує комутацію силового кола. Саме така організація апаратної частини дозволяє ефективно реалізувати систему автоматичного вмикання і вимикання світла за наявності або відсутності людини в контрольованій зоні.

Перевагою запропонованої апаратної архітектури є її відносна простота, доступність компонентів і можливість подальшого розширення. Наприклад, у перспективі до системи можуть бути додані додаткові камери, датчики освітленості, модулі бездротового зв'язку або інші елементи Smart Home. Завдяки використанню Raspberry Pi система залишається відкритою для модернізації як на апаратному, так і на програмному рівні «див. рис. 2.3».

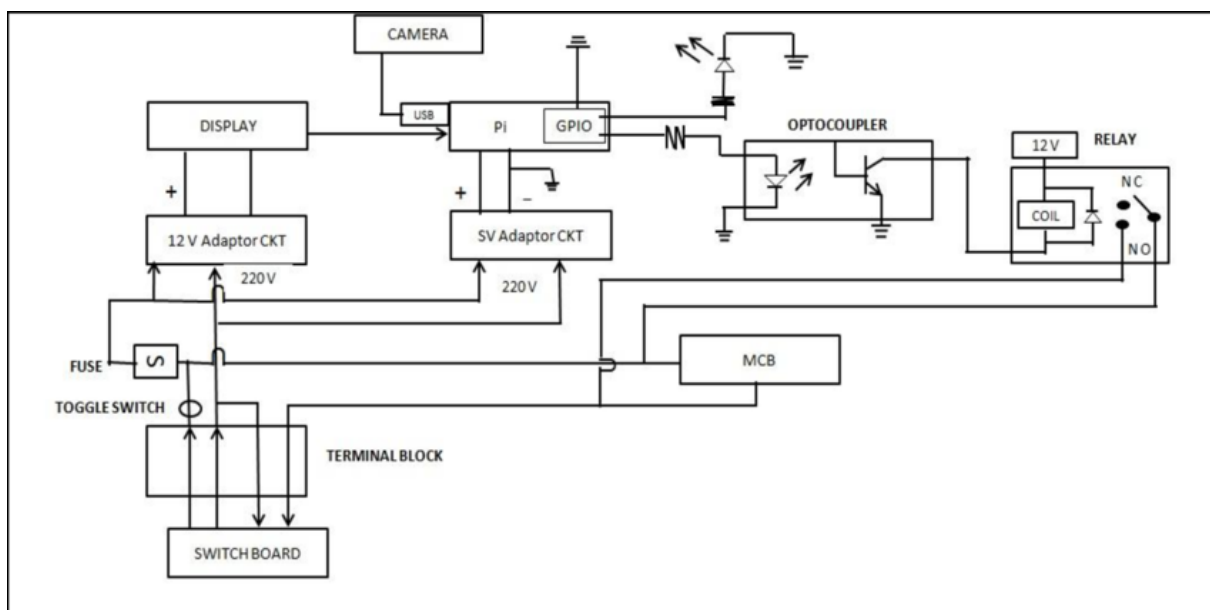


Рисунок 2.3 – Схема підключення камери та виконавчих механізмів до керуючого контролера (наведено за [18])

Таким чином, у процесі проектування апаратної частини було визначено основні компоненти системи, способи їх підключення та принципи взаємодії між

ними. Обрана конфігурація, що включає камеру, Raspberry Pi, релейний модуль або димер та освітлювальний пристрій, забезпечує можливість реалізації системи управління освітленням у режимі реального часу. Розроблена апаратна частина створює основу для подальшого опису алгоритму роботи системи та програмної реалізації модулів керування.

2.3 Розробка алгоритму роботи системи та логіки прийняття рішень

Ефективність системи управління освітленням на основі розпізнавання присутності людини значною мірою залежить від правильно побудованого алгоритму роботи. Саме алгоритм визначає послідовність обробки відеоданих, умови прийняття рішень та порядок формування керуючих сигналів для виконавчих пристроїв. У межах даної роботи алгоритм розроблено з урахуванням вимог до роботи системи в режимі реального часу, мінімізації помилкових спрацювань та забезпечення енергоефективності.

Загальна логіка роботи системи полягає в безперервному моніторингу контрольованої зони за допомогою камери, аналізі отриманих кадрів засобами комп'ютерного зору та подальшому керуванні освітленням залежно від наявності або відсутності людини у полі спостереження. Алгоритм має циклічний характер, оскільки система функціонує безперервно протягом усього часу роботи.

На початковому етапі виконується ініціалізація апаратних і програмних компонентів системи. Зокрема, здійснюється запуск камери, ініціалізація бібліотек обробки відео, завантаження моделі розпізнавання об'єктів, налаштування GPIO-виводів Raspberry Pi, а також встановлення початкового стану виконавчого пристрою, [14], [17]. На цьому етапі освітлення за замовчуванням перебуває у вимкненому стані, якщо інше не передбачено користувацькими налаштуваннями.

Після завершення ініціалізації система переходить у режим постійного зчитування відеопотоку. Камера формує послідовність кадрів, які надходять до програмного модуля обробки. Для зменшення навантаження на обчислювальний

модуль та підвищення швидкодії можливе попереднє масштабування кадру, зміна кольорового простору або нормалізація зображення. Такі операції дозволяють адаптувати вхідні дані до вимог моделі детекції та забезпечити стабільність її роботи, [9].

Наступним етапом є застосування алгоритму розпізнавання людини до поточного кадру. У даній роботі як основний метод обрано алгоритм YOLO, який забезпечує виявлення об'єктів у реальному часі, [12]. У процесі аналізу кадру модель визначає наявність об'єктів класу «person», їх координати на зображенні та рівень достовірності передбачення. Якщо в кадрі виявлено людину з рівнем впевненості, що перевищує встановлений поріг, система формує висновок про присутність людини у контрольованій зоні.

Однак для підвищення надійності роботи системи одного факту виявлення людини в одному кадрі недостатньо. У реальних умовах можливі короточасні помилки розпізнавання, спричинені зміною освітлення, частковим перекриттям об'єкта, цифровим шумом камери або складним фоном. Тому в алгоритм доцільно вводити механізм підтвердження присутності на основі декількох послідовних кадрів. Наприклад, рішення про увімкнення освітлення приймається лише у випадку, якщо людина успішно виявлена протягом декількох ітерацій циклу поспіль. Такий підхід дозволяє істотно зменшити кількість помилкових спрацювань.

Після підтвердження присутності людини формується керуючий сигнал на увімкнення освітлення. Сигнал передається через GPIO-вивід Raspberry Pi на релейний модуль або димер, [14], [18]. Якщо використовується релейний модуль, відбувається комутація силового кола, внаслідок чого освітлювальний пристрій переходить у ввімкнений стан. Якщо використовується димер, система може не лише вмикати освітлення, а й встановлювати певний рівень яскравості відповідно до заздалегідь заданого сценарію.

Після увімкнення світла система не припиняє роботу, а продовжує циклічний моніторинг сцени. Це необхідно для того, щоб відстежувати момент, коли людина залишає контрольовану зону. У разі відсутності детекції людини

система не вимикає освітлення миттєво, оскільки це може призвести до дискомфорту користувача через короткочасні збої розпізнавання або тимчасове виходження людини з поля зору камери. З цією метою в алгоритм вводиться механізм затримки вимкнення.

Логіка затримки полягає в тому, що після першої відсутності людини в кадрі запускається таймер очікування. Якщо протягом заданого інтервалу часу людина знову виявляється у кадрі, таймер скидається, а освітлення продовжує працювати. Якщо ж протягом усього заданого інтервалу присутність людини не підтверджується, система формує команду на вимкнення освітлення. Такий підхід дозволяє уникнути частого перемикання лампи та забезпечує більш природну поведінку системи, [18].

Важливим елементом алгоритму є також логіка обробки нестандартних ситуацій. Наприклад, у випадку втрати з'єднання з камерою, неможливості зчитування кадру або помилки роботи моделі розпізнавання система повинна перейти у безпечний режим роботи. У найпростішому варіанті це може означати збереження поточного стану освітлення або переведення системи у визначений режим за замовчуванням. Наявність такої логіки підвищує надійність системи та дозволяє уникнути некоректної роботи при апаратних або програмних збоях.

Окрему увагу слід приділити вибору порогових параметрів алгоритму. До таких параметрів належать поріг достовірності детекції, кількість послідовних кадрів для підтвердження присутності, а також час затримки перед вимкненням освітлення. Значення цих параметрів підбираються експериментально та можуть змінюватися залежно від умов експлуатації системи. Наприклад, у невеликому приміщенні з постійним освітленням поріг можна зробити нижчим, тоді як у складних умовах змінної освітленості доцільно підвищити вимоги до достовірності детекції.

У межах даної роботи запропоновано таку узагальнену послідовність дій алгоритму:

- Ініціалізація камери, моделі розпізнавання та GPIO-інтерфейсів.
- Захоплення поточного кадру з відеопотоку.
- Попередня обробка кадру.
- Аналіз кадру алгоритмом детекції людини.
- Перевірка наявності об'єкта класу «person».
- У разі підтвердження присутності - формування сигналу на увімкнення освітлення.
- У разі відсутності людини - запуск або продовження таймера очікування.
- Після завершення таймера за відсутності людини - формування сигналу на вимкнення освітлення.
- Повернення до наступного циклу обробки відеопотоку.

Зазначена логіка може бути подана у вигляді блок-схеми алгоритму, яка наведена на рис. 2.4. На відміну від функціональної схеми, розглянутої у підпункті 2.1, блок-схема відображає не лише етапи обробки даних, а й умови переходу між ними. Це дозволяє наочно представити механізм прийняття рішень системою в різних ситуаціях.

Застосування такого алгоритму забезпечує раціональне поєднання точності розпізнавання, швидкодії та енергоефективності. З одного боку, система оперативно реагує на появу людини та вмикає освітлення майже в реальному часі. З іншого боку, завдяки використанню підтвердження по декількох кадрах і таймера затримки вимкнення знижується ймовірність помилкових команд та зайвого перемикання виконавчих пристроїв «див. рис. 2.4».

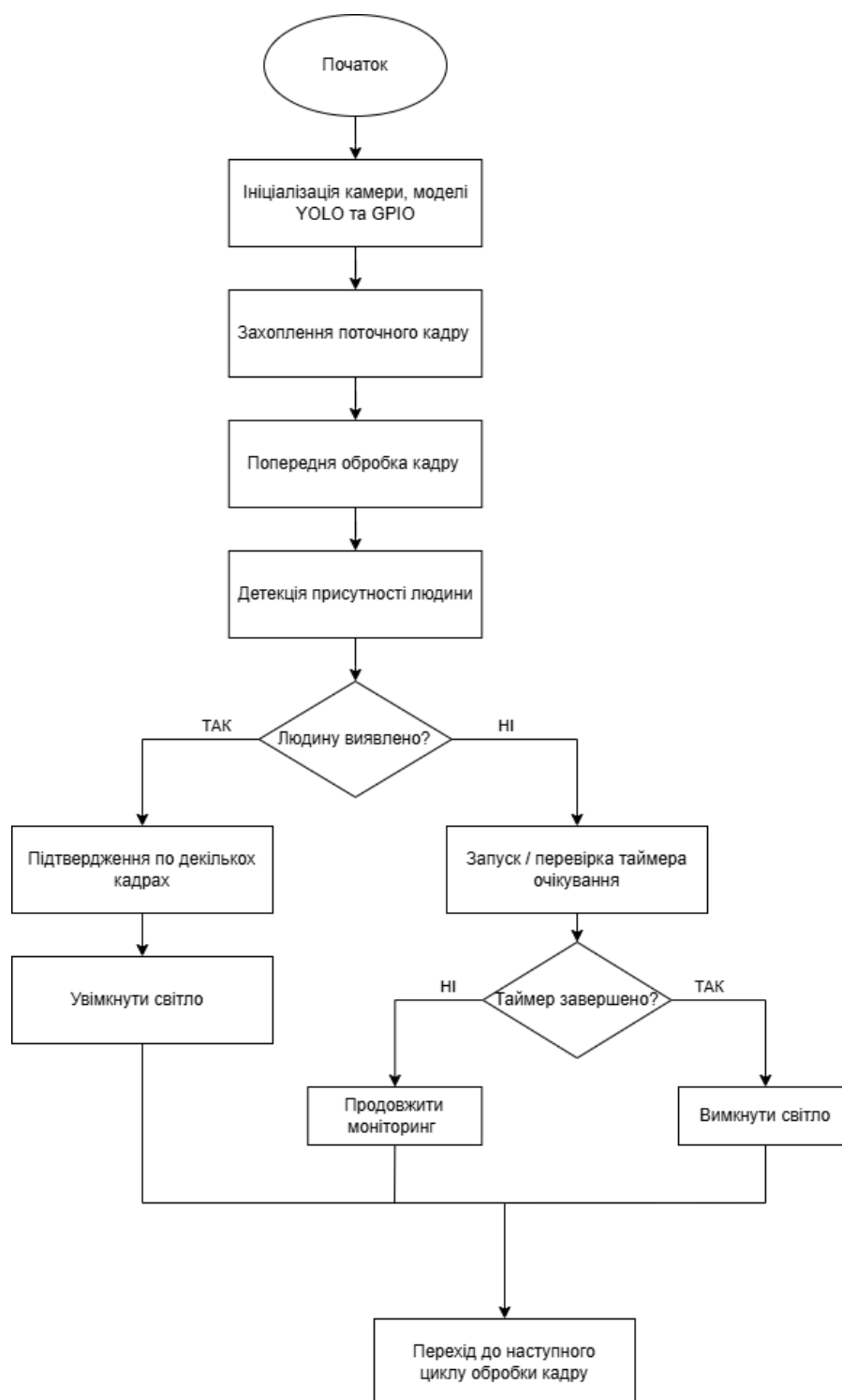


Рисунок 2.4 – Блок-схема алгоритму роботи системи управління освітленням

Таким чином, у результаті проєктування алгоритму роботи системи сформовано логіку прийняття рішень, яка забезпечує безперервний моніторинг контрольованої зони, стабільне виявлення людини, коректне керування освітленням та адаптацію до реальних умов експлуатації. Розроблений алгоритм

є основою для подальшої програмної реалізації модуля розпізнавання та керування GPIO-інтерфейсами.

2.4 Програмна реалізація модуля розпізнавання та керування GPIO-інтерфейсами

Програмна реалізація системи управління освітленням є одним із ключових етапів створення повноцінного програмно-апаратного комплексу, оскільки саме програмний модуль забезпечує взаємозв'язок між етапами захоплення відеоданих, аналізу кадрів, розпізнавання присутності людини та формування керуючих сигналів для виконавчих пристроїв. У межах даної роботи програмну частину реалізовано мовою Python, що зумовлено її широким використанням у сфері комп'ютерного зору, штучного інтелекту та вбудованих систем [9], [17].

Основу програмного модуля становить поєднання бібліотек OpenCV, Ultralytics YOLO та засобів керування GPIO-інтерфейсами Raspberry Pi. Бібліотека OpenCV використовується для отримання відеопотоку з камери, попередньої обробки кадрів і базових операцій над зображенням [9]. Бібліотека Ultralytics YOLO забезпечує завантаження попередньо навченої моделі та детекцію об'єктів класу «person» у реальному часі [17]. Для взаємодії з GPIO-виводами застосовуються програмні засоби Raspberry Pi, що дозволяють формувати логічні сигнали для керування релейним модулем або димером [14].

Програмна структура системи може бути поділена на кілька основних модулів: модуль ініціалізації, модуль захоплення відеопотоку, модуль розпізнавання присутності людини, модуль логіки прийняття рішень та модуль керування GPIO. Такий поділ є доцільним з точки зору модульності, повторного використання коду та спрощення подальшої модернізації системи.

Модуль ініціалізації відповідає за підготовку системи до роботи. На цьому етапі виконується імпорт необхідних бібліотек, налаштування параметрів камери, завантаження моделі YOLO, ініціалізація GPIO-виводів та встановлення початкового стану освітлювального пристрою. Також можуть задаватися

службові параметри, зокрема поріг достовірності детекції, кількість кадрів для підтвердження присутності людини та час затримки перед вимкненням освітлення.

Модуль захоплення відеопотоку забезпечує взаємодію з камерою. Для цього використовується стандартний інтерфейс відеозахоплення OpenCV, який дозволяє в циклічному режимі отримувати поточні кадри з USB-камери або камерного модуля Raspberry Pi [9]. На кожній ітерації циклу програма перевіряє, чи кадр успішно отримано, після чого передає його до модуля попередньої обробки. У разі виникнення помилки зчитування кадру система може або пропустити поточну ітерацію, або перейти в безпечний режим роботи.

Модуль попередньої обробки кадру виконує допоміжні операції над зображенням перед передаванням його до моделі розпізнавання. Залежно від реалізації, це може включати зміну розміру кадру, нормалізацію, перетворення кольорового простору або підготовку даних до формату, який вимагає нейромережева модель. Попередня обробка дозволяє оптимізувати обчислення, зменшити затримки та підвищити стабільність роботи системи.

Модуль розпізнавання присутності людини є центральною частиною програмної реалізації. У даній роботі він побудований на основі алгоритму YOLO, який забезпечує високу швидкість та точність детекції об'єктів у реальному часі [12]. Після передавання кадру до моделі виконується аналіз результатів розпізнавання. Із множини виявлених об'єктів відбираються лише ті, що належать до класу «person». Для кожного такого об'єкта враховується рівень впевненості моделі. Якщо значення перевищує встановлений поріг, система фіксує наявність людини у полі зору камери.

З огляду на те, що в окремих кадрах можливі помилки розпізнавання, у програмній реалізації доцільно використовувати механізм підтвердження присутності людини за декількома послідовними кадрами. Для цього можна вести лічильник позитивних детекцій. Якщо кількість кадрів, у яких було виявлено людину, досягає визначеного порогового значення, система вважає присутність підтвердженою. Такий підхід зменшує ймовірність помилкового

увімкнення освітлення через короточасні артефакти або випадкові хибні спрацювання моделі.

Модуль логіки прийняття рішень реалізує правила керування освітленням на основі результатів розпізнавання. Якщо присутність людини підтверджена, формується команда на увімкнення світла. Якщо людина не виявлена, запускається таймер затримки вимкнення. У разі повторного виявлення людини до завершення таймера відлік скидається. Якщо ж протягом установленого проміжку часу присутність не підтверджується, система формує команду на вимкнення освітлення. Саме цей модуль реалізує логіку, розроблену в підпункті 2.3, і забезпечує узгоджену поведінку системи в реальних умовах експлуатації.

Модуль керування GPIO відповідає за фізичне передавання сигналу від програмної частини до виконавчого пристрою. Для цього відповідний GPIO-вивід Raspberry Pi переводиться у стан логічної одиниці або нуля, залежно від поточного рішення системи [14]. У випадку використання релейного модуля це призводить до спрацювання реле й замикання або розмикання силового кола лампи. Якщо ж використовується димер, програмний модуль може формувати сигнал для регулювання яскравості освітлення.

Програмна реалізація також повинна враховувати завершення роботи системи. У разі зупинки програми необхідно звільнити ресурси камери, коректно завершити роботу моделі, а також скинути стан GPIO-виводів. Це дозволяє уникнути зависання пристроїв у некоректному стані та забезпечує безпечне завершення роботи системи.

Узагальнену структуру програмного модуля можна подати у вигляді такої послідовності:

1. Імпорт бібліотек OpenCV, Ultralytics YOLO та засобів керування GPIO.
2. Ініціалізація камери та GPIO-виводів.
3. Завантаження моделі розпізнавання.
4. Запуск циклу зчитування відеопотоку.
5. Попередня обробка кожного кадру.

6. Детекція людини в поточному кадрі.
7. Аналіз результатів і прийняття рішення.
8. Формування керуючого сигналу на GPIO.
9. Повторення циклу до завершення роботи програми.
10. Звільнення ресурсів і завершення роботи.

Таким чином, у межах даного підпункту було розглянуто програмну реалізацію системи управління освітленням, що поєднує модуль відеозахоплення, модуль розпізнавання присутності людини, логіку прийняття рішень та керування GPIO-інтерфейсами. Обрана програмна архітектура забезпечує можливість обробки відеопотоку в реальному часі, формування керуючих сигналів і реалізацію автоматичного керування освітленням на основі присутності людини в контрольованій зоні

Висновки до розділу 2

У другому розділі кваліфікаційної роботи було розглянуто питання проєктування та програмної реалізації системи управління освітленням на основі розпізнавання присутності людини через камеру.

У ході роботи розроблено структурну та функціональну схеми системи, які відображають склад її основних вузлів, зв'язки між ними та логіку проходження інформації від моменту захоплення відеопотоку до формування керуючого сигналу для освітлювального пристрою. Встановлено, що запропонована архітектура системи забезпечує узгоджену взаємодію між камерою, керуючим контролером Raspberry Pi, модулем розпізнавання присутності, GPIO-інтерфейсами та виконавчим пристроєм.

У межах проєктування апаратної частини визначено основні компоненти системи та принципи їх підключення. Обґрунтовано використання Raspberry Pi як центрального керуючого вузла, камери як засобу отримання відеоданих, а також релейного модуля або димера як виконавчих пристроїв керування освітленням. Показано, що така конфігурація дозволяє безпечно реалізувати

комутацію освітлювального навантаження з урахуванням вимог електричної ізоляції між низьковольтною логічною частиною та силовим колом.

Розроблено алгоритм роботи системи та логіку прийняття рішень, що забезпечують циклічний моніторинг контрольованої зони, підтвердження присутності людини за результатами аналізу послідовних кадрів, формування команд на увімкнення освітлення, а також затримку вимкнення світла після зникнення людини з поля зору камери. Запропонований алгоритм дозволяє зменшити кількість помилкових спрацювань, підвищити стабільність роботи системи та забезпечити більш комфортний режим експлуатації.

У підрозділі програмної реалізації розглянуто структуру програмного модуля, що поєднує засоби відеозахоплення, алгоритми комп'ютерного зору, логіку прийняття рішень та керування GPIO-інтерфейсами. Визначено, що використання мови програмування Python, бібліотек OpenCV, Ultralytics YOLO та програмних засобів Raspberry Pi створює належні умови для реалізації системи, здатної працювати в режимі реального часу. Запропонована модульна організація програмного забезпечення спрощує подальше розширення функціональності та модернізацію системи.

Таким чином, у другому розділі сформовано теоретико-практичну основу для подальшого експериментального дослідження розробленої системи. Отримані результати дають змогу перейти до перевірки точності розпізнавання людини, оцінки швидкодії системи та аналізу її енергоефективності, що розглядаються у третьому розділі.

РОЗДІЛ 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ТЕСТУВАННЯ РОЗРОБКИ

3.1 Опис умов проведення експерименту та методика тестування

Експериментальне дослідження розробленої системи управління освітленням проводилося з метою перевірки її працездатності, оцінки точності розпізнавання присутності людини, визначення швидкодії реакції виконавчих пристроїв та аналізу енергоефективності запропонованого рішення. Проведення такого дослідження є необхідним етапом, оскільки саме результати практичного тестування дозволяють оцінити відповідність системи поставленим функціональним вимогам.

Для проведення експерименту було використано апаратно-програмний комплекс, основу якого становив одноплатний комп'ютер Raspberry Pi, відеокамера, релейний модуль та освітлювальний пристрій. Як програмне середовище використовувалися мова Python, бібліотека OpenCV для роботи з відеопотоком та бібліотека Ultralytics YOLO для детекції об'єктів класу «person» [9], [17]. Керування виконавчим пристроєм здійснювалося через GPIO-інтерфейси Raspberry Pi [14].

Експеримент проводився у закритому приміщенні, що моделює типові умови використання системи в житловому або офісному середовищі. Камера встановлювалася таким чином, щоб у її полі зору знаходилася зона проходу або перебування людини. Освітлювальний пристрій підключався через релейний модуль до керуючого контролера. Під час дослідження враховувалися різні умови зовнішнього середовища, зокрема зміна освітленості приміщення та відстані між людиною і камерою.

Для забезпечення об'єктивності результатів тестування було визначено набір контрольованих параметрів:

- рівень освітленості приміщення;
- відстань від людини до камери;
- час реакції системи на появу людини;

- час вимкнення освітлення після зникнення людини з поля зору;
- частота помилкових спрацювань;
- стабільність роботи системи при тривалому використанні.

Методика тестування передбачала проведення серії повторюваних експериментів за різних умов. Для оцінки точності розпізнавання людини проводилися спостереження у трьох основних режимах освітленості: достатнє освітлення, знижене освітлення та нерівномірне освітлення. У кожному режимі виконувалася серія спроб, під час яких людина входила в контрольовану зону, залишалася в кадрі протягом певного часу, а потім покидала її. Для кожної спроби фіксувалося, чи коректно система виявила присутність людини та чи було сформовано правильний сигнал керування освітленням.

Для оцінки впливу відстані на якість детекції дослідження проводилося на кількох фіксованих дистанціях між людиною і камерою. Це дозволило визначити діапазон відстаней, у межах якого система забезпечує найбільш стабільне виявлення об'єкта. Такий підхід є важливим, оскільки в реальних умовах експлуатації користувач може перебувати на різній відстані від пристрою відеоспостереження.

Окремим етапом експерименту було визначення швидкодії системи. Для цього вимірювався проміжок часу між моментом появи людини у полі зору камери та моментом увімкнення освітлення. Аналогічно визначався час між виходом людини з контрольованої зони та фактичним вимкненням освітлення. Такі вимірювання дозволяють оцінити, наскільки швидко система реагує на зміни ситуації та чи відповідає її робота вимогам до систем реального часу.

Для аналізу стабільності функціонування система тестувалася в умовах багаторазового повторення циклів «поява людини - увімкнення світла - відсутність людини - вимкнення світла». Це дозволило перевірити наявність програмних збоїв, зависань, помилок повторного запуску таймера та інших небажаних ефектів, що можуть виникати під час тривалої роботи.

У процесі дослідження також проводилося порівняння теоретично очікуваної та фактичної поведінки системи. Теоретично система мала:

1. виявляти людину в кадрі;
2. вмикати освітлення після підтвердження присутності;
3. утримувати освітлення у ввімкненому стані, поки людина перебуває в зоні спостереження;
4. вимикати освітлення після завершення інтервалу затримки за відсутності людини.

Фактичні результати фіксувалися у вигляді таблиць спостережень, у яких відображалися умови експерименту, результат розпізнавання, наявність або відсутність помилок, а також час реакції системи.

Для зменшення впливу випадкових факторів кожний експеримент повторювався декілька разів. Остаточні висновки формувалися не за результатом однієї спроби, а на основі усереднених показників. Такий підхід дозволяє підвищити достовірність оцінки та уникнути викривлення результатів через одиничні помилки розпізнавання або нестабільність освітлення.

Важливим елементом методики було розмежування типів результатів розпізнавання. До правильних результатів відносилися випадки, коли система коректно виявляла присутність людини та формувала відповідну команду на увімкнення освітлення. До помилкових результатів відносилися як хибнопозитивні спрацювання, коли система вмикала світло без реальної присутності людини, так і хибнонегативні випадки, коли людина була в кадрі, але освітлення не вмикалося. Такий поділ дозволяє більш точно оцінити якість функціонування розробленого рішення «див. табл. 3.1».

Таблиця 3.1 – Основні умови проведення експерименту

Параметр	Значення
Апаратна платформа	Raspberry Pi
Засіб відеозахоплення	USB-камера / CSI-камера
Алгоритм детекції	YOLO
Мова програмування	Python
Бібліотеки	OpenCV, Ultralytics YOLO
Виконавчий пристрій	Релейний модуль
Тип приміщення	Закрите приміщення
Основні умови тестування	Різна освітленість, різна відстань

Отже, обрана методика тестування дозволяє комплексно оцінити працездатність системи, її точність, швидкодію та стабільність. Саме на основі цих експериментальних даних у подальших підпунктах буде виконано аналіз точності розпізнавання за різних умов, оцінку затримки реакції системи та визначення її енергоефективності.

3.2 Порівняння точності розпізнавання людини в різних умовах освітлення та на різних відстанях

Одним із найважливіших показників ефективності системи управління освітленням на основі комп'ютерного зору є точність розпізнавання присутності людини. Саме від достовірності виявлення об'єкта залежить правильність подальшого керування освітлювальним пристроєм, а отже, і загальна надійність роботи системи. У межах даного підпункту виконано порівняння результатів, наведених у наукових джерелах, присвячених використанню YOLO-подібних моделей для виявлення людини або пов'язаних із нею подій у різних умовах освітлення та на різних відстанях до камери [20].

Необхідність такого порівняння зумовлена тим, що точність алгоритмів комп'ютерного зору значною мірою залежить від якості вхідного зображення. На неї впливають рівень освітленості приміщення, наявність тіней, контрастність сцени, а також розмір об'єкта в кадрі, який змінюється залежно від відстані між людиною і камерою. У сучасних дослідженнях low-light object detection прямо зазначається, що недостатнє освітлення ускладнює процес виявлення об'єктів і знижує якість роботи стандартних YOLO-моделей без додаткової адаптації [21].

Як приклад літературних даних доцільно розглянути дослідження системи виявлення падінь на основі YOLO, у межах якого оцінювалася точність розпізнавання в умовах різного освітлення. У цій роботі показано, що за умов daylight точність була істотно вищою, ніж за умов low light: система демонструвала близько 92 % точності при денному освітленні та близько 60 % у слабкому освітленні [20]. Хоча дослідження присвячене задачі fall detection, воно

є релевантним для даної роботи, оскільки також використовує камерне спостереження та YOLO-підхід для аналізу присутності людини в кадрі.

У тій самій роботі наведено результати порівняння за різних відстаней камери до об'єкта. Зокрема, при відстані близько 1.5 м точність досягала 93 %, при 3 м – 87 %, при 4 м – 67 %, а при відстані понад 4.5 м знижувалася приблизно до 53 % [20]. Такі дані свідчать про чітку тенденцію: зі збільшенням відстані людина займає меншу площу кадру, внаслідок чого зменшується кількість інформативних ознак для моделі, а точність розпізнавання погіршується «див. табл. 3.2».

Таблиця 3.2 – Порівняння точності розпізнавання за даними літературних джерел

Умова	Значення точності
Денне освітлення	92 %
Слабке освітлення	60 %
Відстань 1.5 м	93 %
Відстань 3 м	87 %
Відстань 4 м	67 %
Відстань понад 4.5 м	53 %

Наведені дані дозволяють зробити висновок, що найсприятливішими умовами для стабільної роботи системи є достатній рівень освітлення та відносно невелика відстань між людиною і камерою. За таких умов модель отримує чіткіше зображення, а об'єкт має достатній розмір у кадрі для впевненого виявлення. Погіршення освітлення та збільшення дистанції, навпаки, призводять до втрати частини візуальних ознак, зростання кількості помилок і зниження загальної точності системи [20].

Додатковим підтвердженням цієї тенденції є сучасне емпіричне дослідження low-light object detection, у якому проаналізовано роботу кількох YOLO-моделей в умовах недостатнього освітлення. Автори наголошують, що low-light сценарії суттєво знижують якість детекції об'єктів і потребують або спеціального попереднього покращення зображення, або використання спеціально адаптованих моделей [21]. Це узгоджується з наведеними вище

числовими результатами та підтверджує, що умови освітлення є одним із визначальних факторів для систем комп'ютерного зору.

Для розроблюваної системи управління освітленням ці висновки мають практичне значення. По-перше, камера повинна розміщуватися так, щоб людина перебувала в межах робочої дистанції, на якій модель забезпечує прийнятну точність. По-друге, доцільно враховувати, що при зниженому освітленні ефективність розпізнавання може зменшуватись, тому в реальних умовах експлуатації варто або забезпечувати мінімальний базовий рівень освітлення, або використовувати додаткові засоби стабілізації якості вхідного зображення [20], [21].

Таким чином, порівняння результатів, наведених у літературних джерелах, показує, що точність розпізнавання людини істотно залежить від рівня освітленості та відстані до камери. Найкращі результати досягаються за достатнього освітлення та на невеликих відстанях, тоді як у слабкому освітленні та при збільшенні дистанції точність закономірно знижується. Отримані висновки можуть бути використані як орієнтир для подальшого налаштування параметрів і умов експлуатації розроблюваної системи.

3.3 Порівняння швидкодії системи

Одним із важливих показників ефективності системи управління освітленням на основі розпізнавання присутності людини є швидкодія її роботи. Для систем такого класу важливо не лише забезпечити коректну детекцію людини, але й мінімізувати затримку між появою людини в полі зору камери та фактичним вмиканням освітлення. Крім того, необхідно оцінити час вимкнення освітлення після зникнення людини з контрольованої зони. У межах даного підпункту виконано порівняння показників швидкодії, наведених у літературних джерелах, присвячених системам детекції людини на Raspberry Pi та smart-lighting рішенням із релейним керуванням.

У задачах, пов'язаних із комп'ютерним зором, швидкодія визначається насамперед часом, необхідним для захоплення кадру, його попередньої обробки,

виконання моделі детекції та формування керуючого сигналу. У роботі YOLO Based Real-Time Human Detection for Smart Video Surveillance наведено результати запуску моделі детекції людини на платформі Raspberry Pi 3B. Автори зазначають, що система забезпечує швидкодію 2 кадри за секунду (2 FPS), а також демонструє точність 95.05% і 96.81% на двох тестових наборах даних. Значення 2 FPS означає, що один цикл обробки кадру в середньому займає близько 0,5 с, що можна розглядати як орієнтовний час розпізнавання людини на edge-платформі даного класу [22].

Окрім часу, потрібного на розпізнавання, на загальну швидкість системи впливає реакція виконавчої частини, насамперед релейного модуля. У дослідженні Home Lighting Control Based on Time Scheduling using Crontab зазначено, що для системи керування освітленням на Raspberry Pi час реакції реле перебуває у межах 1–2 с [23]. У роботі Development of Energy-Efficient Smart Switch and Lighting System наведено ще конкретніші дані: час реакції при ввімкненні реле становив 1,2 с, а при вимкненні – 1,1 с [24]. Ці результати дозволяють стверджувати, що для smart-lighting систем із релейною комутацією характерною є затримка на рівні приблизно однієї секунди, навіть без урахування складних алгоритмів комп'ютерного зору «див. табл. 3.3».

Таблиця 3.3 – Швидкодія платформ та систем

Платформа/Система	Показник швидкодії
Raspberry Pi 3B, YOLO human detection	2 FPS ($\approx 0,5$ с на обробку кадру)
Raspberry Pi, relay lighting control	Час реакції реле 1–2 с
Smart switch and lighting system	1,2 с на ввімкнення; 1,1 с на вимкнення

Наведені дані свідчать, що швидкодія подібних систем формується з двох основних складових: часу розпізнавання події та часу реакції виконавчого пристрою. Якщо орієнтуватися на наведені результати, то для системи управління освітленням на базі Raspberry Pi із модулем комп'ютерного зору можна очікувати, що повний цикл реагування на появу людини становитиме від часток секунди до 1–2 секунд залежно від обчислювальної складності моделі, продуктивності платформи та характеристик релейного модуля.

Важливо враховувати, що наведені значення отримані в різних дослідженнях і не є абсолютно тотожними умовам розроблюваної системи. Зокрема, робота [22] характеризує швидкодію модуля детекції людини, тоді як роботи [23] і [24] описують переважно реакцію виконавчої частини системи освітлення. Тому їх доцільно розглядати як орієнтовні референтні значення, що дозволяють оцінити очікуваний порядок затримок у системах аналогічного класу. Такий підхід є методично обґрунтованим, якщо на момент написання роботи повні власні експериментальні вимірювання ще не завершені.

З практичної точки зору це означає, що розроблювана система повинна забезпечувати достатньо швидке вмикання освітлення після появи людини в кадрі, щоб користувач не відчував суттєвої затримки. Водночас невелика затримка вимкнення освітлення є навіть доцільною, оскільки дозволяє уникнути надто частих перемикань світла у випадках короточасної втрати детекції або тимчасового виходу людини з поля зору камери. Отже, для подібних систем важливим є не лише мінімальний час реакції, а й баланс між швидкодією та стабільністю роботи.

Для більшої наочності результати порівняння можна представити у вигляді стовпчикової діаграми, де по осі абсцис відкладаються джерела або типи систем, а по осі ординат – значення затримки або швидкодії. У такому разі доцільно окремо показати час розпізнавання кадру та час спрацювання реле, оскільки ці показники характеризують різні аспекти функціонування системи. Це дозволить наочно продемонструвати, що загальна реакція smart-lighting системи формується поєднанням програмної та апаратної складових.

Таким чином системи управління освітленням на базі Raspberry Pi та модулів комп'ютерного зору можуть працювати в режимі, близькому до реального часу. Швидкодія розпізнавання людини на edge-платформі становить близько 0,5 с на кадр [22], тоді як реакція релейних модулів у smart-lighting системах зазвичай знаходиться в межах 1–2 с [23]. Отримані результати можуть бути використані як орієнтир для оцінювання очікуваної швидкодії розроблюваної системи та для подальшого аналізу її енергоефективності.

3.4 Оцінка енергоефективності впровадженого рішення

Однією з ключових цілей розроблення системи управління освітленням на основі розпізнавання присутності людини є зменшення непродуктивних витрат електроенергії. У сучасних системах smart lighting енергоефективність досягається за рахунок того, що освітлення працює лише тоді, коли воно дійсно потрібне користувачу, а у періоди відсутності людей автоматично вимикається або переводиться у режим зниженого енергоспоживання [25], [26].

У межах даної роботи енергоефективність розглядається як здатність системи скорочувати сумарний час роботи освітлювального пристрою без погіршення комфорту користувача. На відміну від традиційного режиму експлуатації, коли світло часто залишається ввімкненим незалежно від фактичної присутності людини, автоматизоване керування дозволяє своєчасно вмикати освітлення при появі людини та вимикати його після її виходу із зони спостереження [25].

Для оцінки енергоефективності доцільно порівнювати два режими роботи системи:

1. базовий режим, у якому освітлення працює без автоматичного контролю присутності;
2. автоматизований режим, у якому освітлення керується на основі виявлення людини камерою та алгоритмом комп'ютерного зору.

Основним показником при такому порівнянні є споживання електроенергії освітлювальним пристроєм, яке визначається за формулою 3.1:

$$W = P \times t \quad (3.1)$$

де W – спожита електроенергія, Вт·год;

P – потужність освітлювального пристрою, Вт;

t – час його роботи, год.

Із наведеної залежності випливає, що зменшення часу роботи освітлення безпосередньо призводить до зменшення споживання електроенергії. Саме на

цьому принципі ґрунтується дія систем автоматичного керування освітленням, заснованих на детекції присутності [25], [26].

За даними Better Buildings Solution Center, використання occupancy sensors у системах освітлення може забезпечувати економію електроенергії в межах від 10% до 90% залежно від типу приміщення, характеру його використання та режиму роботи освітлення [25]. Дослідження Lawrence Berkeley National Laboratory, наведене в матеріалах Integrated Lighting Campaign, показує, що в контрольованих зонах річна економія може досягати до 30% порівняно з базовою системою освітлення [26].

Подібні висновки простежуються і в практичних демонстраційних проєктах Міністерства енергетики США. Зокрема, для паркінгів було показано, що енергоефективність LED-освітлення може бути суттєво підвищена завдяки використанню occupancy-sensor controls, які дозволяють змінювати режим роботи світильників залежно від фактичної наявності людей або транспортних засобів [27]. Отже, автоматичне керування освітленням є дієвим інструментом енергозбереження не лише в теорії, а й у реальних умовах експлуатації.

Для систем, подібних до розроблюваної в цій роботі, додатковий інтерес становлять рішення, у яких замість традиційних датчиків руху використовується комп'ютерний зір. У сучасних дослідженнях із використанням алгоритму YOLO для виявлення пішоходів у системах зовнішнього освітлення підкреслюється, що підхід на основі computer vision дозволяє оптимізувати роботу освітлення та зменшувати витрати на електроенергію, зберігаючи при цьому необхідний рівень функціональності системи [28]. Це підтверджує доцільність застосування камерного виявлення присутності як альтернативи традиційним PIR-датчикам. «див. табл. 3.4».

Таблиця 3.4 – Порівняння показників енергоефективності

Тип рішення	Наведений ефект
Occupancy sensors for lighting	Економія 10–90% залежно від типу приміщення
Контрольовані lighting zones	До 30% річної економії відносно базової системи
LED lighting + occupancy control	Суттєве підвищення енергоефективності завдяки автоматичному керуванню
Computer vision + YOLO for lighting optimization	Зниження енергетичних витрат за рахунок виявлення пішоходів

Наведені результати свідчать, що основним фактором економії є скорочення тривалості роботи освітлення в періоди, коли в цьому немає фактичної потреби. Для розроблюваної системи це означає, що енергоефективність досягається завдяки автоматичному вимкненню світла після зникнення людини з контрольованої зони та відмові від постійного освітлення у порожньому приміщенні [25], [27].

Практичне значення отриманих висновків полягає в тому, що навіть без точного розрахунку для кожного конкретного приміщення можна стверджувати: застосування автоматичного керування освітленням на основі детекції присутності дозволяє зменшити споживання електроенергії порівняно з некерованим або ручним режимом. Рівень економії залежатиме від потужності ламп, тривалості перебування людей у приміщенні, частоти входу та виходу користувачів, а також від налаштувань таймера затримки перед вимкненням освітлення [25], [26].

Водночас слід враховувати, що розроблювана система також має власне енергоспоживання, пов'язане з роботою Raspberry Pi, камери та релейного модуля. Проте в умовах, коли освітлювальне навантаження працює тривалий час і має вищу потужність, саме оптимізація режиму роботи ламп забезпечує основний енергозберігаючий ефект. Тому впровадження системи є доцільним насамперед у приміщеннях із нерегулярним використанням, де світло без автоматизації часто залишається ввімкненим без потреби [25], [28].

Висновки до розділу 3

У третьому розділі кваліфікаційної роботи було розглянуто питання експериментального дослідження системи управління освітленням на основі розпізнавання присутності людини через камеру. Проведений аналіз умов тестування та методики оцінювання дозволив визначити основні критерії ефективності системи, зокрема точність розпізнавання людини, швидкодію реакції на події та енергоефективність запропонованого рішення.

У ході дослідження було встановлено, що точність розпізнавання людини суттєво залежить від рівня освітленості приміщення та відстані між людиною і камерою. Найкращі результати досягаються за умов достатнього освітлення та на невеликих відстанях до об'єкта, тоді як погіршення освітлення або збільшення дистанції призводять до зниження точності детекції. Це підтверджує необхідність урахування умов експлуатації системи під час її налаштування та використання.

Порівняння швидкодії систем аналогічного класу показало, що платформи на базі Raspberry Pi у поєднанні з алгоритмами комп'ютерного зору здатні забезпечувати роботу в режимі, близькому до реального часу. Встановлено, що загальна швидкодія системи визначається не лише часом розпізнавання людини, а й реакцією виконавчої частини, зокрема релейного модуля або димера. Це свідчить про необхідність комплексної оптимізації як програмних, так і апаратних компонентів системи.

Оцінка енергоефективності показала, що використання автоматизованого керування освітленням дозволяє зменшити непродуктивні витрати електроенергії завдяки скороченню часу роботи освітлювального пристрою в періоди відсутності людини. Таким чином, запропонована система є не лише функціонально доцільною, а й енергетично ефективною, що особливо важливо для сучасних систем розумного будинку та інтелектуального керування ресурсами.

Отже, результати третього розділу підтверджують перспективність використання систем комп'ютерного зору для автоматизації керування

освітленням. Встановлено, що ефективність таких систем визначається поєднанням достатньої точності розпізнавання, прийнятної швидкодії та реального енергозберігаючого ефекту. Отримані результати створюють підґрунтя для формулювання загальних висновків кваліфікаційної роботи та підтверджують практичну доцільність розробленого рішення.

ВИСНОВКИ

У ході виконання роботи було проаналізовано сучасні системи автоматизації освітлення та технології Smart Home. Встановлено, що традиційні підходи, засновані на використанні датчиків руху, мають ряд обмежень, зокрема недостатню точність у випадках статичної присутності людини, схильність до помилкових спрацювань та обмежені можливості адаптації до складних умов середовища. Це обґрунтувало доцільність використання систем комп'ютерного зору як більш гнучкого та точного підходу до визначення присутності людини.

У першому розділі було виконано аналіз методів комп'ютерного зору для детекції людини, зокрема Haar Cascades, HOG, SSD та YOLO. За результатами порівняння встановлено, що найбільш доцільним для реалізації системи в умовах реального часу є алгоритм YOLO, який забезпечує оптимальне співвідношення швидкості та точності розпізнавання. Також проведено огляд апаратних платформ і визначено, що Raspberry Pi є найбільш придатним рішенням для реалізації системи завдяки достатній обчислювальній потужності, підтримці бібліотек комп'ютерного зору, доступній вартості та можливості керування виконавчими пристроями через GPIO-інтерфейси.

У другому розділі було розроблено структурну та функціональну схеми системи, що відображають її загальну архітектуру та логіку проходження інформації від камери до освітлювального пристрою. Спроектовано апаратну частину, яка включає камеру, керуючий контролер Raspberry Pi, релейний модуль або димер та освітлювальне навантаження. Описано принципи їх підключення та взаємодії. Крім того, було сформовано алгоритм роботи системи, який передбачає безперервний моніторинг контрольованої зони, підтвердження присутності людини за результатами аналізу декількох кадрів, своєчасне вмикання освітлення та вимкнення його після завершення затримки за відсутності людини.

Також у межах другого розділу розглянуто програмну реалізацію системи. Визначено, що використання мови Python, бібліотек OpenCV, Ultralytics YOLO

та засобів керування GPIO-інтерфейсами Raspberry Pi дозволяє реалізувати повноцінний модуль відеозахоплення, розпізнавання присутності людини, логіки прийняття рішень та керування виконавчими пристроями. Запропонована модульна структура програмного забезпечення забезпечує зручність подальшого розширення функціоналу системи.

У третьому розділі було проведено оцінювання ефективності системи за трьома основними напрямками: точність розпізнавання, швидкодія та енергоефективність. Встановлено, що якість виявлення людини суттєво залежить від умов освітлення та відстані до камери: найбільш стабільна робота досягається за достатнього освітлення та на невеликих відстанях. Аналіз швидкодії показав, що системи аналогічного класу на базі Raspberry Pi та алгоритмів комп'ютерного зору можуть працювати в режимі, близькому до реального часу, а загальна затримка формується як поєднання часу розпізнавання та часу реакції виконавчої частини. Оцінка енергоефективності підтвердила, що автоматизоване керування освітленням дозволяє скоротити непродуктивні витрати електроенергії завдяки вимкненню світла в періоди відсутності людини.

Отже, у роботі досягнуто поставленої мети – розроблено концепцію та обґрунтовано програмно-апаратну реалізацію системи автоматизованого керування освітленням на основі розпізнавання присутності людини через камеру. Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості використання запропонованого рішення в системах розумного будинку, офісних приміщеннях та інших об'єктах, де важливими є автоматизація, підвищення комфорту та енергоощадність.

Перспективами подальшого розвитку роботи є вдосконалення алгоритмів розпізнавання в складних умовах освітлення, розширення функціональності системи за рахунок інтеграції з іншими підсистемами Smart Home, використання декількох камер для підвищення точності виявлення, а також проведення повномасштабного експериментального тестування в реальних умовах експлуатації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Gubbi J., Buyya R., Marusic S., Palaniswami M. Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future Generation Computer Systems*. 2013. Vol. 29, no. 7. P. 1645–1660. DOI: 10.1016/j.future.2013.01.010.
2. Alam M. R., Reaz M. B. I., Ali M. A. M. A review of smart homes – past, present, and future. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews*. 2012. Vol. 42, no. 6. P. 1190–1203. DOI: 10.1109/TSMCC.2012.2189204.
3. U.S. Department of Energy. Lighting Choices to Save You Money. URL: <https://www.energy.gov/energysaver/lighting-choices-save-you-money>.
4. Cook D. J., Das S. K. *Smart Environments: Technology, Protocols, and Applications*. Hoboken : John Wiley & Sons, 2005. 404 p. DOI: 10.1002/047168659X.
5. Connectivity Standards Alliance. Zigbee Specification. Revision 23. 2023. URL: <https://csa-iot.org/wp-content/uploads/2023/04/05-3474-23-csg-zigbee-specification-compressed.pdf>.
6. Demiris G., Hensel B. K. Sensor Technology for Smart Homes // *Journal of Biomedical Informatics*. 2008. Vol. 41, No. 3. P. 469–481. DOI: 10.1016/j.jbi.2008.01.002.
7. Szeliski R. *Computer Vision: Algorithms and Applications*. 2nd ed. Cham : Springer, 2022. URL: <https://szeliski.org/Book/>.
8. Google. Google Home Developers Documentation. URL: <https://developers.home.google.com/>.
9. OpenCV. Object Detection. OpenCV Documentation. URL: <https://docs.opencv.org/>.
10. Viola P., Jones M. Rapid object detection using a boosted cascade of simple features. *Proceedings of the 2001 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. 2001. Vol. 1. P. I-511–I-518. DOI: 10.1109/CVPR.2001.990517.

11. Dalal N., Triggs B. Histograms of oriented gradients for human detection. Proceedings of the 2005 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2005. Vol. 1. P. 886–893. DOI: 10.1109/CVPR.2005.177.
12. Redmon J., Divvala S., Girshick R., Farhadi A. You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection. Proceedings of the 2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2016. P. 779–788. DOI: 10.1109/CVPR.2016.91.
13. Liu W., Anguelov D., Erhan D., Szegedy C., Reed S., Fu C.-Y., Berg A. C. SSD: Single Shot MultiBox Detector. Computer Vision – ECCV 2016. Lecture Notes in Computer Science. 2016. Vol. 9905. P. 21–37. DOI: 10.1007/978-3-319-46448-0_2.
14. Raspberry Pi Ltd. Raspberry Pi Documentation. URL: <https://www.raspberrypi.com/documentation/>.
15. Espressif Systems. ESP32 Technical Reference Manual. Version 5.7. URL: https://documentation.espressif.com/esp32_technical_reference_manual_en.pdf.
16. NVIDIA. Jetson: Embedded AI Computing Platform. URL: <https://developer.nvidia.com/embedded-computing>.
17. Ultralytics. Ultralytics YOLO Documentation. URL: <https://docs.ultralytics.com/>.
18. Maslekar A., Aparna K., Mamatha K., Shivakumara T. Smart Lighting System using Raspberry Pi. International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology. 2015. Vol. 4, issue 7. P. 5113–5121. URL: https://www.ijirset.com/upload/2015/july/11_Smart.pdf.
19. Akış U., Dişlitaş S. Intelligent Lighting System Using Color-Based Image Processing for Object Detection in Robotic Handling Applications. Applied Sciences. 2024. Vol. 14, no. 7. Article 3002. DOI: 10.3390/app14073002.
20. Long K. Z., Haron H., Ibrahim M., Eri Z. D. An Image-based Fall Detection System using You Only Look Once (YOLO) Algorithm to Monitor Elders' Fall Events. Knowledge Management International Conference (KMICe) 2021. Changlun, Malaysia, 2021. Vol. 1. P. 50–55.

21. Shovo S. U. A., Abir M. G. R., Kabir M. M., Mridha M. F. Advancing low-light object detection with you only look once models: An empirical study and performance evaluation. *Cognitive Computation and Systems*. 2024. Vol. 6, no. 4. P. 119–134. DOI: 10.1049/ccs2.12114.
22. Nguyen H. H., Ta T. N., Nguyen N. C., Bui V. T., Pham H. M., Nguyen D. M. YOLO Based Real-Time Human Detection for Smart Video Surveillance at the Edge. 2020 IEEE Eighth International Conference on Communications and Electronics (ICCE). 2021. P. 439–444. DOI: 10.1109/ICCE48956.2021.9352144.
23. Suchendra D. R., Suryani D. P., Sani M. I. Home Lighting Control Based on Time Scheduling using Crontab. *IJAIT (International Journal of Applied Information Technology)*. 2018. Vol. 2, no. 1. P. 1–6. DOI: 10.25124/ijait.v2i01.924.
24. Usikalu M. R., Okogbue S. C., Ogunwale E. I. Development of Energy-Efficient Smart Switch and Lighting System. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2025. Vol. 1492. Article 012017. DOI: 10.1088/1755-1315/1492/1/012017.
25. Better Buildings Solution Center. Wireless Occupancy Sensors for Lighting Controls. URL: <https://betterbuildingssolutioncenter.energy.gov/resources/wireless-occupancy-sensors-lighting-controls>.
26. Integrated Lighting Campaign. 2024 Recognitions. URL: <https://integratedlightingcampaign.energy.gov/2024-recognitions>.
27. U.S. Department of Energy. Parking Garage Lighting, Washington, DC. URL: https://www1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/ssl/deptoflabor_brief.pdf.
28. Vanin A. S., Belan P. Towards Sustainable Cities: Utilizing Computer Vision and AI for Efficient Public Lighting and Energy Management. *Urban Science*. 2023. Vol. 7, no. 3. Article 94. DOI: 10.3390/urbansci7030094.