

**ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ ТА ТЕХНОЛОГІЙ**

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: **«АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ДОСТУПУ
АВТОТРАНСПОРТУ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ АЛГОРИТМІВ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВІДЕОАНАЛІТИКИ»**

на здобуття освітнього ступеня бакалавра
зі спеціальності 126 Інформаційні системи та технології
(код, найменування спеціальності)
освітньо-професійної програми Інформаційні системи та технології
(назва)

*Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень.
Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на
відповідне джерело*

_____ Варвара Порицька
(підпис) (ім'я, ПРІЗВИЩЕ здобувача)

Виконав: здобувач вищої освіти група ІСД-41

_____ Варвара Порицька
(ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Керівник _____ Ольга Полоневич
к.т.н., доцент (ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Рецензент: _____
к.т.н., доцент (ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Київ 2026

**ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

Навчально-науковий інститут інформаційних технологій

Кафедра Інформаційних систем та технологій
Ступінь вищої освіти Бакалавр
Спеціальність 126 Інформаційні системи та технології
Освітньо-професійна програма Інформаційні системи та технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедрою ІСТ

_____ Каміла СТОРЧАК

“ _____ ” _____ 2026 року

**З А В Д А Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

Порицькій Варварі Володимирівні

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема кваліфікаційної роботи: Автоматизована система контролю доступу автотранспорту із застосуванням алгоритмів інтелектуальної відеоаналітики

керівник кваліфікаційної роботи: Ольга ПОЛОНЕВИЧ к.т.н., доцент

(ім'я, ПРИЗВИЩЕ, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій від “ 20 ” лютого 2026 р. № 51

2. Строк подання кваліфікаційної роботи «1» червня 2026 р.

3. Вихідні дані кваліфікаційної роботи:

1. Принципи побудови та функціонування автоматизованих систем контролю доступу автотранспорту на основі інтелектуальної відеоаналітики (LPR/ANPR).

2. Архітектурні моделі обробки даних: Edge Computing та централізована серверна архітектура на базі протоколу RTSP.

3. Науково-технічна література, технічна документація виробників обладнання, а також відкриті датасети номерних знаків.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

1. Аналіз призначення автоматизованих систем контролю доступу та дослідження їхніх основних архітектурних концепцій.

2. Дослідження програмних алгоритмів комп'ютерного зору (OCR), мережових протоколів передачі відеоданих та технологій апаратно-програмної інтеграції.

3. Опис практичної інсталяції, монтажу апаратного забезпечення, оптичного калібрування та програмної конфігурації комплексу.

4. Теоретичне моделювання фізичних обмежень та порівняльний аналіз роботи систем для об'єктів із різним швидкісним режимом з формуванням практичних рекомендацій.

5. Перелік ілюстраційного матеріалу: *презентація*

6. Дата видачі завдання «20» лютого 2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/ п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Підбір технічної літератури	20.02-23.02.26	
2.	Аналіз призначення та архітектурних моделей систем відеоаналітики	23.02-6.03.26	
3.	Дослідження алгоритмів розпізнавання номерів та мережевих протоколів	9.03-25.03.26	
4.	Практична конфігурація та порівняльний аналіз систем для різних швидкісних режимів	26.03-9.04.26	
5.	Висновки по роботі	10.04-29.04.26	
6.	Розробка демонстраційних матеріалів, доповідь	30.04-18.05.26	
7.	Оформлення бакалаврської роботи	18.05-1.06.26	

Здобувач вищої освіти _____ Варвара ПОРИЦЬКА
(підпис) (ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Керівник кваліфікаційної роботи _____ Ольга ПОЛОНЕВИЧ
(підпис) (ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Текстова частина кваліфікаційної роботи на здобуття освітнього ступеня бакалавр: 66 стор., 8 рис., 9 табл., 23 джерела.

Мета роботи: порівняльна оцінка архітектур Edge Computing та Server-based RTSP для систем відеоаналітики автотранспорту і розробка рекомендацій щодо їх впровадження для різних швидкісних режимів.

Об'єкт дослідження: автоматизовані системи контролю доступу автотранспорту на основі відеоаналітики.

Предмет дослідження: архітектурні моделі (Edge Computing та Server-based RTSP), алгоритми розпізнавання номерних знаків, апаратне забезпечення та протоколи передачі даних, що використовуються в LPR-системах для різних швидкісних режимів.

Короткий зміст роботи. У роботі досліджено архітектурні моделі та апаратно-програмну інфраструктуру систем контролю доступу на основі технології розпізнавання номерів (LPR). Розглянуто алгоритми комп'ютерного зору (OCR), мережеві протоколи та процес конфігурації обладнання з інтеграцією віддаленого управління через Telegram-бота. На основі теоретичного моделювання впливу фізичних факторів (motion blur) на різних швидкостях розроблено практичні рекомендації щодо вибору та налаштування LPR-систем для локальних (до 40 км/год) і магістральних (до 190 км/год) об'єктів.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ВІДЕОАНАЛІТИКА, КОНТРОЛЬ ДОСТУПУ, РОЗПІЗНАВАННЯ НОМЕРНИХ ЗНАКІВ, LPR/ANPR, EDGE COMPUTING, АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОПУСКНИХ ПУНКТИВ, MOTION BLUR.

Зміст

ВСТУП	9
РОЗДІЛ 1. ПРИЗНАЧЕННЯ ТА АРХІТЕКТУРНІ КОНЦЕПЦІЇ СИСТЕМ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВІДЕОАНАЛІТИКИ АВТОТРАНСПОРТУ	12
1.1. Загальне призначення автоматизованих систем контролю доступу (АСКД) та концепція інтелектуальної відеоаналітики	12
1.2. Архітектурні моделі побудови систем відеоаналітики: Edge Computing проти Server-based RTSP	17
1.2.1. Децентралізована архітектура на базі граничних обчислень (Edge Computing)	17
1.2.2. Централізована серверна архітектура з використанням протоколу RTSP	19
1.2.3. Критерії вибору та інженерні компроміси	21
1.3. Апаратне забезпечення та фізична інфраструктура систем відеоаналітики	23
РОЗДІЛ 2. ПРОГРАМНІ АЛГОРИТМИ ТА МЕРЕЖЕВІ ПРОТОКОЛИ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ	30
2.1. Алгоритми комп'ютерного зору та логіка розпізнавання номерних знаків (LPR/OCR)	30
2.2. Мережеві протоколи трансляції медіаданих та технології цифрової компресії відеопотоку	34
2.3. Програмно-апаратна інтеграція з виконавчими механізмами та архітектура взаємодії з хмарними сервісами	38
РОЗДІЛ 3. ПРАКТИЧНА ІНСТАЛЯЦІЯ, КОНФІГУРАЦІЯ ТА ПУСКОНАЛАГОДЖЕННЯ АПАРАТНО-ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ	42
3.1. Монтаж обладнання, оптичне калібрування та організація кабельної інфраструктури	42
3.2. Програмна конфігурація, калібрування зон детекції та налаштування сценаріїв роботи	47
3.3. Формування локальних баз даних, управління логікою допуску та налаштування віддаленого моніторингу через екосистему Telegram	51
РОЗДІЛ 4. ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ АПАРАТНО-ПРОГРАМНИХ РІШЕНЬ ДЛЯ ОБ'ЄКТІВ ІЗ РІЗНИМ ШВИДКІСНИМ РЕЖИМОМ ТРАФІКУ	56
4.1. Фізичні та алгоритмічні обмеження при захопленні динамічних об'єктів	56
4.2. Специфіка побудови систем відеоаналітики для локальних об'єктів (швидкісний режим до 40 км/год)	58
4.3. Архітектура систем магістрального моніторингу та розпізнавання на високих швидкостях (від 100 до 190 км/год)	61
4.4. Теоретичне моделювання впливу швидкості на якість розпізнавання	64

ВИСНОВКИ	66
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	70

ВСТУП

Актуальність теми. Сучасний розвиток міської інфраструктури, логістичних комплексів та житлових масивів супроводжується стрімким зростанням кількості транспортних засобів. Це створює підвищені вимоги до систем контролю доступу на територію об'єктів. Традиційні рішення, що базуються на використанні RFID-карток, радіобрелоків або ручній реєстрації, виявляються недостатньо ефективними через вплив людського фактора, вразливість ідентифікаторів та низьку пропускну здатність. Альтернативою є системи інтелектуальної відеоаналітики з функцією автоматичного розпізнавання номерних знаків (License Plate Recognition, LPR). Вони дозволяють ідентифікувати транспортний засіб за його державним номером без зупинки, формувати цифровий архів проїздів та інтегруватися з виконавчими механізмами (шлагбаумами, воротами). Однак ефективність таких систем суттєво залежить від архітектурного рішення (централізована серверна обробка чи децентралізована на межі мережі) та умов експлуатації (швидкісний режим, освітленість). Тому дослідження, порівняння та обґрунтування вибору архітектури LPR-систем для об'єктів з різним швидкісним режимом є актуальним науково-прикладним завданням.

Об'єкт дослідження – автоматизовані системи контролю доступу автотранспорту на основі відеоаналітики.

Предмет дослідження – архітектурні моделі (Edge та Server-based RTSP), алгоритми LPR, апаратне забезпечення та протоколи передачі даних у LPR-системах для різних швидкісних режимів

Мета роботи – провести порівняльну оцінку архітектурних підходів Edge Computing та Server-based RTSP для систем відеоаналітики автотранспорту, визначити оптимальні конфігурації для різних швидкісних режимів та розробити рекомендації щодо впровадження.

Завдання дослідження:

- Проаналізувати призначення та недоліки традиційних систем контролю доступу, обґрунтувати доцільність LPR-технології.
- Дослідити архітектурні моделі Edge Computing та Server-based RTSP, визначити їх переваги, обмеження та сфери застосування.
- Описати апаратну інфраструктуру (ANPR-камери, обчислювальні модулі, виконавчі механізми) та вимоги до монтажу.
- Розглянути програмні алгоритми комп'ютерного зору та мережеві протоколи передачі даних.
- На основі теоретичного моделювання фізичних обмежень (motion blur, SNR, Rolling Shutter) та аналізу відкритих даних виконати порівняльну оцінку роботи LPR-систем для швидкісних діапазонів до 40 км/год та до 190 км/год.
- Сформулювати практичні рекомендації щодо вибору та налаштування обладнання для типових об'єктів.

Методи дослідження: аналіз науково-технічної літератури та документації; системний аналіз архітектур; порівняльний аналіз технічних характеристик; теоретичне (розрахункове) моделювання впливу параметрів експозиції та швидкості на якість зображення; аналіз відкритих датасетів номерних знаків.

Обмеження дослідження: Через відсутність доступу до промислового LPR-обладнання та полігону для натурних випробувань, робота базується на теоретичному аналізі та даних з відкритих джерел. Отримані висновки є орієнтовними та потребують верифікації в реальних умовах, що є перспективою подальших досліджень.

Практичне значення роботи: отримані результати можуть бути використані при проектуванні систем контролю доступу для житлових комплексів, бізнес-центрів, логістичних терміналів та автомагістралей. Запропоновані

налаштування (кути нахилу камери, параметри експозиції, використання Telegram-бота для адміністрування) дозволяють підвищити точність розпізнавання до >98% та знизити експлуатаційні витрати.

Апробація результатів та публікації. Основні положення і результати бакалаврської роботи доповідались на науково практичних конференціях, що проходили на базі Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій - VII Науково-технічна конференція «Сучасний стан та перспективи розвитку IoT» , 20 квітня 2026 — «Автоматизована система контролю доступу автотранспорту із застосуванням алгоритмів інтелектуальної відеоаналітики»

РОЗДІЛ 1. ПРИЗНАЧЕННЯ ТА АРХІТЕКТУРНІ КОНЦЕПЦІЇ СИСТЕМ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВІДЕОАНАЛІТИКИ АВТОТРАНСПОРТУ

1.1. Загальне призначення автоматизованих систем контролю доступу (АСКД) та концепція інтелектуальної відеоаналітики

У сучасних умовах стрімкого зростання кількості автомобілів та безперервного ускладнення логістичних процесів, вимоги до систем безпеки та контролю доступу на територію підприємств, житлових комплексів і міських інфраструктурних об'єктів кардинально змінилися. Історично склалося так, що першим рівнем безпеки контрольно-пропускних пунктів (КПП) була фізична присутність людини-оператора (охоронця), який здійснював візуальну ідентифікацію транспортного засобу та ручне ведення журналу реєстрації. Згодом ця модель еволюціонувала до напіваавтоматичних систем, що базуються на використанні фізичних ідентифікаторів таких як магнітні картки (RFID-міток), радіобрелоки, штрих- або QR-коди.

Однак традиційні підходи на сьогодні виявляють свою критичну неефективність, оскільки мають низку суттєвих та концептуальних недоліків:

1. Вплив людського фактора: втома оператора, зниження концентрації уваги, ризик корупційних дій або несанкціонованого пропуску транспортних засобів на територію, помилки при ручному введенні даних до журналу.
2. Вразливість фізичних ідентифікаторів: RFID-картки або радіобрелоки можуть бути легко передані третім особам, загублені, викрадені або скопійовані, що нівелює сам принцип персоналізованого доступу.
3. Економічні та експлуатаційні витрати: постійна потреба у закупівлі нових карток доступу, заміні елементів живлення у брелоках, а також витрати на оплату праці розширеного штату співробітників служби безпеки.

4. Низька пропускна здатність: необхідність зупинки транспортного засобу для прикладання картки до зчитувача створює штучні затори на в'їздах у години пік (наприклад, у великих житлових комплексах або бізнес-центрах).

Для систематизації основних відмінностей між традиційними та сучасними рішеннями в таблиці 1.1 наведено порівняльну характеристику поколінь систем контролю доступу автотранспорту.

Таблиця 1.1

Порівняльна характеристика поколінь систем контролю доступу автотранспорту

Критерій порівняння	Людина-оператор (візуальний контроль)	Фізичні ідентифікатори (RFID, брелоки, QR-коди)	Інтелектуальна відеоаналітика (LPR/ANPR)
Основний ідентифікатор	Візуальна оцінка оператора	Фізичний носій (картка, брелок, код)	Державний номерний знак (невіддільний)
Вплив людського фактора	Високий (втома, помилки, корупційні ризики)	Низький (автоматичне зчитування)	Мінімальний (повністю автоматичний процес)
Ризик передачі / копіювання ідентифікатора	Відсутній (але можливий усний дозвіл)	Високий (картку/брелок легко передати, загубити, скопіювати)	Відсутній (номер не може бути переданий іншому авто)

Продовження таблиці 1.1

Експлуатаційні витрати	Високі (зарплата персоналу, витратні журнали)	Середні (закупівля карток, батарейок, обслуговування)	Низькі (немає витратних матеріалів, скорочення штату)
Пропускна здатність (у години пік)	Низька (ручна перевірка кожного авто)	Середня (необхідна зупинка для прикладання)	Висока (розпізнавання без зупинки, у русі)
Автоматична доказова фотофіксація	Відсутня (лише ручний запис у журналі)	Відсутня або опціональна (потребує додаткових камер)	Обов'язкова (номер + фото + дата/час + напрямок)

Вирішенням комплексу цих проблем стало впровадження автоматизованих систем контролю доступу (АСКД) нового покоління, базовим елементом яких є алгоритми інтелектуальної відеоаналітики, зокрема технологія автоматичного розпізнавання номерних знаків (License Plate Recognition — LPR, або Automatic Number Plate Recognition — ANPR).

Головним призначенням таких систем є повна або часткова автоматизація процесу ідентифікації транспортних засобів, управління виконавчими механізмами (шлагбаумами, автоматичними воротами, ролетами) та ведення автоматичного, незалежного від людини моніторингу транспортного потоку. Головною перевагою технології LPR є використання державного реєстраційного номера автомобіля як єдиного, унікального та невіддільного від об'єкта ідентифікатора. Тобто, автомобіль і є ключем доступу.

Концепція технології інтелектуальної відеоаналітики автотранспорту — це не просто запис відео, а складний процес перетворення відеопотоку — неструктурованих візуальних даних, у метадані — структуровану текстову інформацію. Цей процес реалізується через багатоступеневий конвеєр машинного зору, який включає наступні етапи:

- **Захоплення зображення:** отримання відеокадру з камери спостереження. Для коректної роботи алгоритмів на цьому етапі важливою є якість оптики та наявність апаратних технологій покращення зображення (наприклад, WDR — розширений динамічний діапазон, та HLC — компенсація яскравого зустрічного засвічення від фар).
- **Попередня обробка та просторова детекція:** алгоритм аналізує кадр у пошуках об'єкта, що за патернами нагадує транспортний засіб, ігноруючи сторонні шуми (людей, тварин, природні явища).
- **Локалізація номерної пластини:** пошук у кадрі прямокутної області із заданими пропорціями та специфічним контрастом між фоном і символами.
- **Сегментація та нормалізація:** розбиття знайденої області на окремі символи, коригування кута нахилу та яскравості.
- **Оптичне розпізнавання символів (OCR):** перетворення графічних зображень букв і цифр у текстовий формат String за допомогою навчених нейронних мереж. Сучасні алгоритми, такі як, наприклад, у компанії Kobi, здатні розпізнавати номери понад 50 країн світу, включаючи специфічні формати (дворядкові, кольорові номери спецтехніки або поліції).

- Логічна обробка та виконання сценарію: звірка отриманого текстового рядка з існуючими базами даних («білими» або «чорними» списками) і формування релейного сигналу на відкриття бар'єра.

Завдяки використанню методів глибинного навчання (Deep Learning), сучасні системи досягають точності розпізнавання понад 98% за умови коректного монтажу обладнання. Швидкість роботи алгоритмів дозволяє ідентифікувати автомобілі не лише в статиці, коли автомобіль стоїть перед шлагбаумом, а й у динаміці — на швидкостях до 190–260 км/год, що відкриває можливості для їх використання на швидкісних автомагістралях.

Окрім базової функції відкриття шлагбаума, впровадження систем відеоаналітики вирішує розширений спектр завдань адміністрування та безпеки:

1. Формування доказової бази (Журналювання): система створює незмінний цифровий архів, де кожному проїзду відповідає запис із розпізнаним номером, точною датою, часом, напрямком руху та, що найголовніше, фотографією (скріншотом) автомобіля в момент проїзду. Це важливо для розслідування інцидентів правоохоронними органами або службою безпеки об'єкта.
2. Інтелектуальне управління паркувальним простором: можливість підрахунку транспортних засобів, що в'їхали та виїхали. Система в реальному часі контролює кількість вільних місць на паркінгу і може автоматично блокувати в'їзд при досягненні ліміту, виводячи відповідне повідомлення на інформаційне табло.
3. Гнучка система сповіщень та дистанційного контролю: сучасні системи підтримують інтеграцію з хмарними сервісами та месенджерами. Це дозволяє адміністраторам отримувати миттєві push-сповіщення при фіксації автомобіля з «чорного списку», а мешканцям або співробітникам — дистанційно відкривати шлагбаум для гостей авто через екран смартфона.

Таким чином, сучасна автоматизована система контролю доступу автотранспорту є не просто інструментом обмеження проїзду, а комплексним аналітичним центром, який об'єднує дані про транспортний потік, мінімізує експлуатаційні витрати підприємства та формує принципово новий рівень безпеки інфраструктури. Розробка та конфігурація таких систем може здійснюватися за різними архітектурними принципами (на базі граничних або серверних обчислень), що робить їх універсальним інструментом для об'єктів будь-якого масштабу.

1.2. Архітектурні моделі побудови систем відеоаналітики: Edge Computing проти Server-based RTSP

Проектування сучасних систем автоматичного розпізнавання номерних знаків вимагає вирішення основної інженерної задачі: де саме у топології мережі має відбуватися обробка відеоданих і виконання ресурсоємних математичних алгоритмів оптичного розпізнавання символів (OCR). Залежно від місця розташування обчислювальних потужностей, виділяють два основні архітектурні підходи: децентралізовану обробку на межі мережі (Edge Computing) та централізовану серверну аналітику. Кожен із цих підходів має власні технічні особливості, вимоги до інфраструктури та сферу оптимального застосування.

1.2.1. Децентралізована архітектура на базі граничних обчислень (Edge Computing)

Модель граничних обчислень (Edge Computing) передбачає перенесення процесу обробки даних максимально близько до їхнього джерела — у нашому випадку, безпосередньо до камери відеоспостереження або до локального контролера, встановленого поруч із нею.

У рамках даного дослідження ця архітектура представлена спеціалізованими апаратно-програмними комплексами серії LPR BOX (моделі «Cyclops», «Hydra», «Orthus» від розробника Kobi). З технічної точки зору, такий пристрій є спеціалізованим мікрокомп'ютером, побудованим на базі енергоефективного, але високопродуктивного процесора архітектури ARM (наприклад, Quad-core Cortex-A7), який працює під управлінням оптимізованої операційної системи сімейства Linux.

Процес обробки інформації в такій архітектурі виглядає наступним чином:

1. IP-камера фіксує зображення та передає локальний відеопотік на порт мікрокомп'ютера LPR BOX.
2. Процесор пристрою «на льоту» декодує відеопотік (з використанням кодеків H.264/H.265) та застосовує алгоритми комп'ютерного зору для пошуку і розпізнавання номерного знака.
3. Локальна логіка пристрою звіряє отриманий текстовий рядок із базою даних, що зберігається у фізичній пам'яті самого LPR BOX.
4. У разі збігу пристрій генерує апаратний сигнал (замикає реле) для керування виконавчим механізмом (шлагбаумом).

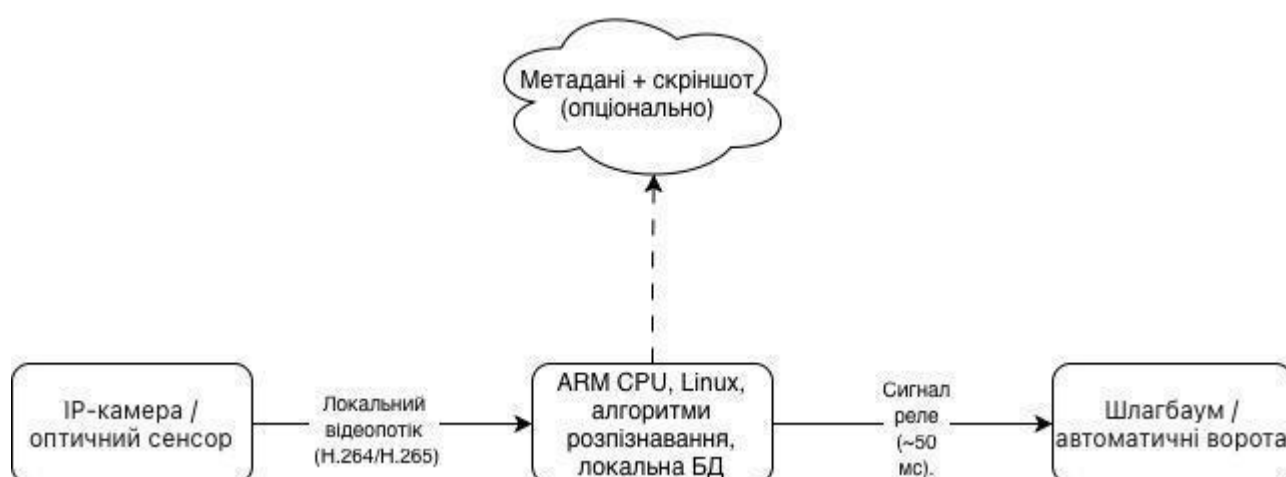


Рис. 1.1 Децентралізована архітектура на базі граничних обчислень (Edge Computing)

Ключові технічні переваги Edge-архітектури:

- Автономність: система не потребує постійного з'єднання із зовнішнім світом (Інтернетом) або центральним сервером. Вона здатна функціонувати навіть у разі повного обриву зовнішніх ліній зв'язку.
- Мінімальна затримка: оскільки дані не передаються через мережу до віддаленого сервера, час від захоплення кадру до прийняття рішення про відкриття шлагбаума є мінімальним і становить близько 50 мс. Це важливо для швидкісних трас (до 190 км/год, як у моделі «Cyclops»).
- Мінімізація мережевого навантаження: замість передачі «важкого» відеопотоку (який може займати кілька мегабіт на секунду), Edge-пристрій відправляє в мережу (за потреби) лише легкі текстові метадані такі як розпізнаний номер, час та один статичний скріншот, що потребує лічених кілобайт пропускної здатності.

1.2.2. Централізована серверна архітектура з використанням протоколу RTSP

Альтернативним підходом є побудова централізованої системи, де "інтелект" зосереджений на єдиному потужному сервері, а камери відеоспостереження виконують виключно роль оптичних сенсорів. Транспортним рівнем для передачі відеоданих у такій архітектурі виступає протокол RTSP (Real-Time Streaming Protocol) — прикладний мережевий протокол, призначений для управління потоковою передачею медіаданих у реальному часі.

У цій архітектурі "сирий" або стиснений відеопотік від IP-камер (наприклад, спеціалізованих ANPR-камер) передається через локальну (LAN) або глобальну

(WAN) мережу на центральний сервер. На сервері розгорнуто спеціалізоване програмне забезпечення класу VMS (Video Management System) . Саме серверний процесор (архітектури x86, наприклад, лінійки Intel Core i3 та вище) або графічний прискорювач (GPU) виконує весь спектр аналітичних операцій: від детекції об'єкта до порівняння з базою даних.



Рис. 1.2 Централізована серверна архітектура з використанням протоколу RTSP.

Примітка. Центральний сервер VMS: апаратна платформа x86/GPU, спеціалізоване ПЗ Video Management System, модуль оптичного розпізнавання, центральна база даних номерів та архів подій.

Технічні особливості RTSP-серверної архітектури:

- Масштабованість: серверна архітектура дозволяє відносно легко додавати нові камери до системи без необхідності закупівлі окремого обчислювального модуля для кожної з них (за умови наявності вільних ресурсів сервера).
- Гнучкість інфраструктури: система здатна обробляти RTSP-потік від будь-якої стандартизованої IP-камери (з роздільною здатністю від 2 до 12

MP та частотою до 60 FPS), що дозволяє використовувати вже наявне на об'єкті обладнання.

- Централізоване управління: усі бази даних, налаштування доступів, журнали подій та відеоархіви зберігаються в єдиному місці, що суттєво спрощує адміністрування системи (особливо для великих об'єктів з 10–20 і більше КПП).

1.2.3. Критерії вибору та інженерні компроміси

Вибір між двома описаними архітектурами базується на аналізі ризиків, наявної інфраструктури та економічної доцільності.

Системи на базі RTSP-серверів мають жорсткі вимоги до якості та пропускної здатності мережі зв'язку. Будь-яка затримка пакетів даних або нестабільність мережі може призвести до "випадання" кадрів, на яких зафіксовано номер авто, що унеможливилює розпізнавання. Крім того, центральний сервер стає єдиною точкою відмови: у разі апаратного збою сервера або виходу з ладу мережевого комутатора, усі підключені КПП одночасно втрачають можливість автоматичного пропуску транспорту.

Натомість децентралізована архітектура (LPR BOX) забезпечує найвищий рівень відмовостійкості. Вихід з ладу одного мікрокомп'ютера ніяк не впливає на працездатність інших КПП на об'єкті. Проте такий підхід потребує закупівлі окремого аналітичного пристрою для кожної зони проїзду, що формує лінійну залежність вартості проекту від кількості шлагбаумів. Вибір між децентралізованою та централізованою архітектурою супроводжується низкою інженерних компромісів, які зведено в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2

Порівняльний аналіз переваг та обмежень архітектурних моделей

Критерій	Edge Computing (LPR BOX)	Серверна RTSP-архітектура
Автономність роботи	Повна незалежність від зовнішньої мережі (функціонує при обриві зв'язку)	Залежність від стабільності LAN/WAN (проблеми мережі → втрата автоматики)

Продовження таблиці 1.2

Затримка спрацювання	Мінімальна (~50 мс), обробка на місці	Більша, варіюється залежно від мережі та завантаження сервера
Навантаження на мережу	Передаються лише метадані та скріншот (одиниці–сотні кбайт)	Передається «важкий» відеопотік (4–20 Мбіт/с на кожену камеру)
Відмовостійкість	Вихід з ладу одного пристрою не впливає на інші КПП	Сервер є єдиною точкою відмови: збій → зупинка всіх КПП
Масштабованість	Потребує окремого обчислювача для кожної зони проїзду	Легке додавання нових камер (за наявності ресурсів сервера)
Вимоги до сумісності камер	Зазвичай жорстка прив'язка до конкретних моделей або протоколів виробника	Підтримка будь-яких IP-камер із RTSP (можна використовувати наявне обладнання)
Адміністрування та консолідація даних	Розпорошена БД, потребує додаткового сервера для загальної звітності	Єдиний центр керування, єдина БД та архів, простіше адміністрування

Можливість модернізації алгоритмів	Оновлення прошивки на кожному пристрої	Централізоване оновлення ПЗ на сервері
---	--	--

У сучасній практиці проектування систем безпеки спостерігається тенденція до гібридизації: використання автономних Edge-пристроїв на важливих КПП для забезпечення безперебійного пропуску, паралельно з передачею метаданих на центральний сервер для об'єднаного адміністрування та формування глобальної звітності.

1.3. Апаратне забезпечення та фізична інфраструктура систем відеоаналітики

Повноцінне та безперебійне функціонування інтелектуальних систем автоматичного розпізнавання номерних знаків є неможливим без використання спеціалізованого апаратного забезпечення, що формує фізичний рівень архітектури об'єкта. Стандартні камери відеоспостереження загального призначення, які зазвичай застосовуються для оглядового моніторингу територій, не здатні забезпечити формування відеопотоку необхідної якості для коректної роботи складних математичних алгоритмів оптичного розпізнавання символів (OCR). Основою апаратної інфраструктури в таких рішеннях виступають спеціалізовані ANPR-камери, які проектуються з урахуванням специфіки захоплення об'єктів, що рухаються з високою швидкістю в умовах динамічного освітлення. Головним елементом такої камери є високочутлива матриця типу Progressive Scan CMOS. Використання сенсорів великого фізичного розміру, зокрема форматів 1/2.8 або 1/1.8 дюйма, дозволяє захоплювати максимальну кількість світла, що дуже важливо для нічної зйомки. Роздільна здатність цих матриць зазвичай варіюється від двох до п'яти мегапікселів. Практика показує, що надмірно висока роздільна здатність не завжди є доцільною для LPR-систем, оскільки вона збільшує навантаження на обчислювальні процесори без суттєвого

підвищення точності розпізнавання, тоді як формати 1080p або 4MP при частоті кадрів від 30 до 60 FPS забезпечують ідеальний баланс між деталізацією та швидкістю обробки відеопотоку.

Наступним важливим компонентом апаратної частини є оптична система відеокамери. На відміну від оглядових систем з фіксованими об'єктивами, камери для розпізнавання номерів у переважній більшості випадків оснащуються моторизованими об'єктивами з багатократним оптичним збільшенням (наприклад, 4-кратним або 10-кратним зумом). Наявність моторизованого приводу лінз дозволяє інженерам під час монтажу та налаштування або в процесі експлуатації дистанційно, з точністю до міліметра, налаштовувати фокусну відстань. Це дає змогу оптично наблизити та масштабувати цільову зону проїзду автомобіля таким чином, щоб номерна пластина займала оптимальну кількість пікселів у кадрі, що є базовою вимогою для безпомилкової роботи алгоритмів нейронних мереж. Крім того, розумне автофокусування адаптується до температурних розширень металевих і скляних компонентів об'єктива, які неминуче виникають при зміні сезонів, зберігаючи ідеальну різкість зображення цілий рік. На рисунку 1.3 показано зовнішній вигляд типової камери, призначеної для розпізнавання номерних знаків.



Рис. 1.3 Зовнішній вигляд ANPR-камери (приклад)

Найбільшим викликом для систем відеоаналітики автотранспорту є робота в темну пору доби, коли виникає ефект засліплення матриці інтенсивним зустрічним світлом від фар автомобіля. Для нейтралізації цього фізичного явища в апаратну базу камер інтегруються спеціалізовані процесори обробки зображення, які реалізують функцію компенсації яскравого засвічення HLC (Highlight Compensation). Ця технологія на апаратному рівні ідентифікує джерела надмірного випромінювання та локально затемнює їх, вирівнюючи загальну експозицію кадру, завдяки чому номерна пластина, яка має світловідбивне покриття, залишається чітко видимою для алгоритму. У денний час для боротьби з глибокими тінями або прямим сонячним промінням, що падає в об'єктив, використовується технологія апаратного розширення динамічного діапазону WDR (Wide Dynamic Range) з показником до 120 дБ. Вона працює за принципом швидкого злиття кількох кадрів з різною витримкою, що дозволяє отримати збалансоване зображення без засвічених або повністю темних зон. Забезпечення видимості в умовах абсолютної темряви покладається на інтегровані інфрачервоні прожектори, які працюють на довжині хвилі 850 нм і здатні ефективно освітлювати простір на дистанції від 50 до 100 метрів.

Безпосередню функцію обчислювального центру в децентралізованих архітектурах виконують спеціалізовані модулі, такі як пристрої LPR BOX. Апаратна база цих автономних мікрокомп'ютерів будується на високопродуктивних, але енергоефективних процесорах архітектури ARM, зокрема Quad-core Cortex-A7. Вибір саме такої архітектури зумовлений необхідністю безперервної локальної обробки важкого відеопотоку із застосуванням кодеків стиснення H.264/H.265 без ризику перегріву системи. Пристрої працюють під управлінням адаптованих дистрибутивів операційної системи Linux, які позбавлені ресурсоємних графічних оболонок і зосереджені виключно на виконанні обчислювальних потоків відеоаналітики. Це гарантує високий рівень стійкості до програмних збоїв, що є важливим критерієм для об'єктів підвищеної безпеки. Для зберігання локальних баз даних автомобілів,

журналів проїздів та візуальних доказів у вигляді фотографій використовуються промислові карти пам'яті формату MicroSD, а в моделях, орієнтованих на інтенсивний трафік, передбачено фізичні інтерфейси для підключення зовнішніх жорстких дисків (HDD) великої ємності. Взаємодія інтелектуальної системи з фізичним світом здійснюється через блок вбудованих релейних виходів. При ідентифікації номерного знака мікроконтролер подає електричний імпульс на реле, яке безпосередньо замикає контакти управління шлагбаумом, автоматичними воротами тощо. Враховуючи специфіку вуличного монтажу, корпуси такого обладнання проектується відповідно до жорстких промислових стандартів: IP67 для повного захисту від пилу та вологи, IK10 для стійкості до механічних пошкоджень, із забезпеченням стабільної роботи в екстремальному температурному діапазоні від -40 до +60 градусів за Цельсієм. Для забезпечення надійної роботи LPR-систем використовується спеціалізоване апаратне забезпечення, ключові компоненти якого наведено в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3

Ключові компоненти апаратної інфраструктури та їх технічне призначення

Компонент системи	Технологія / Параметр	Призначення та вирішення проблеми
Сенсор (Матриця)	Progressive Scan CMOS (1/2.8" - 1/1.8")	Захоплення об'єктів у русі без ефекту «зміщення рядків»; великий фізичний розмір пікселя для роботи в умовах низької освітленості.
Оптична система	Моторизований трансфокатор (4x-10x Zoom)	Точне масштабування зони проїзду для забезпечення ширини номера 130-250 пікселів; компенсація температурного розширення.

HLC (Highlight Compensation)	Апаратне придушення пікселів насичення	Усунення засліплення матриці фарами вночі; локальне затемнення джерел світла для вирівнювання експозиції номера.
WDR (Wide Dynamic Range)	120 дБ (злиття кадрів із різною витримкою)	Компенсація глибоких тіней та прямого сонячного світла вдень; отримання збалансованого зображення без засвічених зон.
Процесор (LPR BOX)	ARM Quad-core Cortex-A7 (Linux)	Енергоефективна локальна обробка важкого відеопотоку (H.264/H.265) без перегріву; автономна робота без зовнішніх серверів.

Продовження Таблиці 1.3

Виконавчий модуль	Вбудоване реле (типу «сухий контакт»)	Гальванічна розв'язка та безпечне управління шлагбаумами/воротами шляхом короткочасного замикання керуючих контактів.
Периферія пам'яті	MicroSD / HDD (інтерфейси)	Локальне зберігання «білих»/«чорних» списків, архіву скріншотів та логів проїздів для автономної роботи (ANR).
Кліматичний захист	IP67, IK10, обігрів скла	Повний захист від пилу/вологи, стійкість до механічних пошкоджень; гарантований холодний старт та відсутність конденсату при -40°C.

У межах досліджуваної децентралізованої архітектури розглядаються автономні пристрої розпізнавання номерних знаків серії LPR BOX виробництва компанії ZetPro (торговельна марка Kobi). Лінійка включає три основні моделі, які відрізняються цільовим призначенням та кількістю підтримуваних каналів відеоспостереження.

Усі пристрої побудовані на єдиній апаратній платформі — чотириядерному процесорі ARM Cortex-A7 під керуванням операційної системи Linux. Це забезпечує уніфікацію програмного забезпечення та спрощує обслуговування парку обладнання на об'єкті. Основні технічні характеристики зведено в таблиці 1.4.

Таблиця 1.4

Технічні характеристики автономних LPR-контролерів серії LPR BOX

Параметр	LPR BOX «Orthus» v1.2	LPR BOX «Hydra» v1.2	LPR BOX «Cyclops» v1.2
Призначення	односторонній КПП (1 в'їзд)	двосторонній КПП (в'їзд/виїзд)	магістралі (швидкість до 190 км/год)
Кількість каналів	2 IP-камери	4 IP-камери	1 IP-камера
Процесор	Quad-core Cortex-A7	Quad-core Cortex-A7	Quad-core Cortex-A7

Роздільна здатність	1080p@30fps	1080p@30fps	1080p@30fps
Кодек стиснення	H.264	H.264	H.264
Швидкість розпізнавання	до повної зупинки ТЗ	до повної зупинки ТЗ	до 190 км/год
Релейні виходи	4	4	4
Слот MicroSD	до 32 ГБ	до 32 ГБ	до 32 ГБ
Живлення	DC 5V	DC 5V	DC 5V
Додатково	HDMI, USB 2.0	HDMI, USB 2.0	3G/4G-модем (опційно)

Модель «Orthus» призначена для організації односторонніх контрольно-пропускних пунктів, наприклад, в'їзду в житловий комплекс або на паркінг бізнес-центру. Пристрій підключається до двох ІР-камер — основної та резервної, або для контролю двох смуг руху.



Рис. 1.4 Зовнішній вигляд автономного контролера LPR BOX

Модель «Hydra» є розширеною версією для двосторонніх КПП, де необхідно контролювати як в'їзд, так і виїзд. Чотири канали дозволяють

підключити по дві камери на кожен напрямок або використовувати додаткові ІЧ-датчики. Пристрій автоматизує зону в'їзду/виїзду без використання додаткового обладнання.

Модель «Cyclops» є спеціалізованим рішенням для високошвидкісних магістралей, платних доріг та систем автоматизованого контролю трафіку. Алгоритми розпізнавання оптимізовані для роботи з урахуванням фізичних обмежень, описаних у розділі 4.1, і зберігають працездатність на швидкостях до 190 км/год. Час обробки одного кадру становить лише 50 мс. Завдяки можливості підключення зовнішнього 3G/4G-модема пристрій здатний передавати дані навіть у відсутність провідного інтернет-зв'язку, що особливо важливо для віддалених ділянок доріг. Жорсткий корпус оснащено кріпленнями VESA 75×75

РОЗДІЛ 2. ПРОГРАМНІ АЛГОРИТМИ ТА МЕРЕЖЕВІ ПРОТОКОЛИ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ

2.1. Алгоритми комп'ютерного зору та логіка розпізнавання номерних знаків (LPR/OCR)

Програмне ядро автоматизованої системи контролю доступу базується на спеціалізованих алгоритмах інтелектуальної відеоаналітики, які повністю інтегровані в автономні обчислювальні пристрої лінійки LPR BOX. Основною концепцією цієї програмної реалізації є модель граничних обчислень (Edge Computing). Цей архітектурний підхід передбачає виконання всіх без винятку етапів детекції, нормалізації та ідентифікації об'єктів локально, на борту

пристрою, під управлінням оптимізованої операційної системи сімейства Linux. На відміну від традиційних хмарних рішень, така архітектура забезпечує абсолютну незалежність системи від якості зовнішнього інтернет-з'єднання, унеможливорює затримки, пов'язані з маршрутизацією пакетів на віддалені сервери, та радикально підвищує загальну відмовостійкість інфраструктури об'єкта. Безперебійну роботу математичних алгоритмів забезпечує інтегрований високопродуктивний мікропроцесор Quad-core Cortex-A7. Його багатоядерна архітектура дозволяє паралельно вести обчислювальні потоки: одне ядро відповідає за підтримку мережевої сесії та декодування вхідного стисненого відеопотоку формату H.264 в оперативній пам'яті, тоді як інші ядра повністю виділяються під потреби нейромережевого аналізу. Це забезпечує стабільну ідентифікацію транспортних засобів навіть при високій інтенсивності трафіку та лінійній швидкості руху автомобілів до 190 км/год, що є цільовим експлуатаційним показником для спеціалізованих магістральних рішень класу «Cyclops».

Процес ідентифікації транспортного засобу починається задовго до безпосереднього розпізнавання символів і ініціюється етапом просторової детекції. Для оптимізації використання ресурсів процесора програмне забезпечення LPR BOX використовує механізм віртуальних зон інтересу (Region of Interest — ROI). Системний адміністратор через захищений графічний WEB-інтерфейс накладає на живе відеозображення з камери спеціальний полігональний контур, який обмежує робочу область алгоритму. Програмне забезпечення ігнорує будь-які динамічні зміни пікселів поза цією зоною, відсікаючи таким чином зустрічні смуги руху, рух пішоходів на тротуарах або транспортні засоби, припарковані на задньому плані. В середині окресленої зони ROI алгоритм комп'ютерного зору здійснює пошук специфічних геометричних та градієнтних патернів, притаманних автомобільним номерним пластинам. Важливою складовою цього етапу є програмна інтеграція з апаратними функціями IP-камер. Програмне забезпечення мікрокомп'ютера здатне в реальному часі

аналізувати гістограму кадру і програмно компенсувати надмірну контрастність або локальні пересвічення від фар ближнього світла, готуючи максимально чисте зображення для подальшої обробки.

Логіка оптичного розпізнавання символів (Optical Character Recognition, OCR) реалізована у вигляді складного багатоступеневого програмного конвеєра. Після локалізації номерної пластини в кадрі алгоритм проводить її сегментацію — віртуальне розбиття суцільного зображення на окремі блоки, кожен з яких містить одну літеру або цифру. Програмне забезпечення пристроїв LPR BOX містить глибоко натреновані еталонні бази синтаксичних масок та шрифтів номерних знаків понад 50 країн світу. Це дозволяє аналітичному ядру безпомилково ідентифікувати не лише стандартні європейські чи українські реєстраційні номери, але й коректно обробляти специфічні формати: дворядкові пластини для вантажних автомобілів, а також номери з нестандартним кольоровим кодуванням (наприклад, жовті транзитні, чорні військові або білі літери на червоному тлі). Завдяки високій оптимізації програмного коду, час, необхідний для повного циклу — від захоплення кадру до генерації текстового рядка — становить 50 мілісекунд. Це дозволяє системі здійснювати багаторазовий перехресний аналіз одного й того ж автомобіля під час його наближення до шлагбаума, підвищуючи підсумкову точність розпізнавання до показників понад 99%.

Фінальним етапом алгоритмічного циклу є робота модуля бізнес-логіки та взаємодія з локальними базами даних. Згенеровані текстові метадані миттєво маршрутизуються до внутрішньої системи управління базами даних контролера. Програмне забезпечення формує пошуковий запит, порівнюючи отриманий рядок символів із завантаженими «білими» (дозволеними) та «чорними» (забороненими) списками. Архітектура LPR BOX дозволяє реалізовувати надзвичайно складну багаторівневу логіку допуску: система перевіряє не лише наявність ідентифікатора в базі, але й валідує додаткові параметри, такі як дозволені дні тижня, конкретні години доби або термін дії абонементу. У разі повного збігу всіх програмних умов мікроконтролер генерує керуючий електричний імпульс на вбудований релейний

вихід для відкриття виконавчого механізму. Одночасно з цим у пам'яті пристрою формується незмінний цифровий запис журналу подій. Цей лог містить точну дату і час проїзду, напрямок руху (в'їзд або виїзд), розпізнаний текст та автоматично прикріплений графічний скріншот автомобіля у високій роздільній здатності. Програмні інструменти дозволяють адміністраторам здійснювати миттєвий пошук у цьому архіві, експортувати журнали у форматах .xlsx та .csv для використання в бухгалтерії, а також налаштовувати автоматичну синхронізацію метаданих із централізованим серверним програмним забезпеченням, що створює єдину глобальну екосистему безпеки підприємства. Узагальнену послідовність роботи конвеєра розпізнавання номерного знака наведено в таблиці. 2.1.

Таблиця 2.1

Етапи програмного конвеєра розпізнавання номерного знака в LPR BOX

Етап	Функція	Програмна реалізація та особливості	Вимога до швидкодії
Захоплення кадру	Отримання кадру з IP-камери	Декодування потоку H.264/H.265, апаратна синхронізація WDR/HLC, відсіювання несфокусованих кадрів	≤ 5 мс

Продовження таблиці 2.1

Віртуальні зони (ROI)	Обмеження області пошуку	Полігональна маска, ігнорування стороннього руху (пішоходи, зустрічні смуги)	Не впливає, знижує навантаження на CPU
Просторова детекція	Пошук прямокутника пластини	Аналіз градієнтів та геометричних патернів; попередня оцінка контрасту	~ 10 мс

Сегментація символів	Виділення окремих знаків	Нормалізація нахилу, корекція яскравості, виділення меж символів на основі проєкційних гістограм	~10 мс
OCR (розпізнавання)	Перетворення зображень символів у текстовий рядок	Нейромережеві класифікатори, натреновані на шрифти 50+ країн; обробка дворядкових і кольорових форматів	~20 мс
Постобробка	Підвищення достовірності	Статистичне агрегування (мажоритарне голосування) за кількома послідовними кадрами	~5 мс

Продовження таблиці 2.1

Валідація в БД	Перевірка за «білим»/«чорним» списком	SQL-запит до локальної SQLite; контроль днів тижня, годин доби, терміну дії абонента	~5 мс
Формування вихідного сигналу	Керування виконавчими пристроями	Замикання реле типу «сухий контакт» (імпульс заданої тривалості)	Негайно після валідації

Журналювання події	Збереження цифрового доказу	Запис у внутрішній лог (дата/час, напрямок, номер, шлях до скріншоту)	Фоновий процес
--------------------	-----------------------------	---	----------------

2.2. Мережеві протоколи трансляції медіаданих та технології цифрової компресії відеопотоку

Для забезпечення безперебійної та високошвидкісної взаємодії між периферійними оптичними сенсорами — IP-камерами та обчислювальними модулями аналітики в архітектурі системи використовується спеціалізований мережевий стек протоколів реального часу. Основним інструментом управління поточними даними виступає прикладний протокол RTSP (Real-Time Streaming Protocol), який функціонує як інтелектуальний інтерфейс керування сеансом зв'язку. На відміну від стандартних протоколів передачі файлів (як-от HTTP чи FTP), RTSP не здійснює безпосереднє транспортування піксельних масивів, а виконує роль мережевого пульта дистанційного керування, що ініціює команди встановлення зв'язку, призупинення трансляції та завершення сесії. Життєвий цикл взаємодії контролера LPR BOX із камерою через RTSP включає кілька етапів: запит параметрів потоку (команда DESCRIBE), узгодження транспортних портів для передачі медіаданих (команда SETUP) та безпосередній запуск трансляції (команда PLAY). Така архітектура дозволяє програмному забезпеченню отримувати доступ до відеоданих із мінімальними затримками, що є ключовою вимогою для систем автоматизації проїзду, де кожна мілісекунда затримки в мережі може призвести до несвоєчасного спрацювання шлагбаума.

Безпосереднє транспортування відеоданих у межах встановленої RTSP-сесії покладається на транспортний протокол RTP (Real-time Transport Protocol), який працює у тандемі з контрольним протоколом RTCP (Real-time Control Protocol).

Протокол RTP забезпечує інкапсуляцію стиснених відеокадрів у мережеві пакети, додаючи до кожного з них часові мітки та порядкові номери. Це дозволяє програмному ядру LPR BOX коректно відновлювати послідовність кадрів у буфері оперативної пам'яті навіть у разі їхнього надходження з порушенням порядку через специфіку маршрутизації в локальній мережі. Для мінімізації навантаження на обчислювальні ресурси мікропроцесора система може бути налаштована на роботу через транспортний протокол UDP, який забезпечує максимально швидку передачу без необхідності підтвердження отримання кожного пакета. Проте в умовах складних корпоративних мереж із високим рівнем електромагнітних завад перевага обов'язково віддається протоколу TCP (RTSP over TCP). Використання TCP гарантує цілісність відеопотоку шляхом автоматичного перепиту втрачених пакетів, що запобігає появі візуальних артефактів («розсіпання» картинки на макроблоки), які могли б стати фатальними для нейромережевого алгоритму розпізнавання символів.

Основним аспектом мережевої ефективності системи є використання передових стандартів відеокомпресії, зокрема кодеків H.264 (AVC) та H.265 (HEVC). Оскільки нестиснений відеопотік з роздільною здатністю 4 або 5 мегапікселів миттєво перевантажив би пропускну здатність будь-якої локальної мережі, програмне забезпечення камер здійснює складну математичну обробку сигналу перед його відправкою. Логіка роботи цих кодеків базується на математичному аналізі просторової та часової надмірності відеоданих. Процесор камери формує групу кадрів (GOP — Group of Pictures), яка складається з опорних I-кадрів (Intra-coded), що містять повну візуальну інформацію про сцену, та передбачуваних P-кадрів (Predicted), які кодують лише вектори руху об'єктів та зміни яскравості відносно попереднього стану. Для систем LPR такий підхід є надзвичайно ефективним: оскільки статичний фон (дорожнє покриття, елементи інфраструктури КПП) залишається незмінним, основний обсяг бітрейту динамічно спрямовується на детальне кодування рухомого об'єкта — автомобіля та його номерної пластини.

Впровадження технології Ultra H.265 у пристроях дозволяє ще більше оптимізувати цей процес шляхом інтелектуального управління розміром макроблоків та динамічної зміни частоти опорних кадрів залежно від наявності руху в кадрі. Програмний алгоритм аналізує сцену і, за відсутності руху, максимально знижує інтенсивність потоку, миттєво підвищуючи її при появі автомобіля в зоні детекції. Це дає змогу знизити сумарне навантаження на мережеву інфраструктуру на 75-90% порівняно зі стандартним кодеком H.264, зберігаючи при цьому максимальну чіткість країв символів на номерному знаку. Такий багаторівневий програмно-мережевий стек дозволяє контролеру LPR BOX ефективно обробляти потоки з високою роздільною здатністю навіть при використанні віддалених або обмежених каналів зв'язку, забезпечуючи високу точність розпізнавання та миттєву реакцію виконавчих механізмів системи контролю доступу. Для передачі відеоданих між камерами та обчислювальним модулем застосовується стек протоколів реального часу, порівняння яких наведено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2

Ключові мережеві протоколи та кодеки в архітектурі LPR-систем

Рівень / Компонент	Протокол / Технологія	Функція в LPR-конвеєрі	Інженерні компроміси та особливості
Управління сесією	RTSP (Real-Time Streaming Protocol)	Ініціює, призупиняє та завершує відеопотік від IP-камери до обчислювального	Працює як «мережевий пульт»; затримки на етапі SETUP/PLAY можуть вплинути

		модуля (LPR BOX або сервер VMS)	на час готовності системи
Транспорт даних	RTP (Real-time Transport Protocol)	Інкапсулює стиснені відеокадри з часовими мітками та порядковими номерами для коректного відновлення послідовності	Використовує UDP для швидкості (допускає втрати) або TCP для цілісності (гарантована доставка)
Контроль якості	RTCP (Real-time Control Protocol)	Моніторить статистику передачі (втрата пакетів, джиттер) і забезпечує синхронізацію	Дозволяє динамічно змінювати параметри кодування при погіршенні каналу зв'язку
Вибір транспорту	TCP vs UDP	TCP – автоматичний перепит втрачених пакетів; UDP – мінімальна затримка	У корпоративних мережах з електромагнітними завадами перевага віддається RTSP over TCP

Продовження таблиці 2.2

Компресія відео	H.264 (AVC)	Базовий кодек: зменшує бітрейт у 2–4 рази відносно MJPEG за рахунок міжкадрового стиснення (I/P-кадри)	При швидкому русі можливе «розмиття» дрібних символів, вимагає частіших I-кадрів
Покращена компресія	H.265 (HEVC) та Ultra H.265	Знижує бітрейт на 40–60 % порівняно з H.264 за тієї ж якості; Ultra H.265 динамічно збільшує розмір макроблоків на статичних ділянках сцени	Зменшує навантаження на мережу на 75–90 %; зберігає чіткість країв символів номера,

			концентруючи бітрейт на рухомому автомобілі
Структура кадрів	GOP (Group of Pictures)	Опорні І-кадри (повна інформація) + передбачувані Р-кадри (лише зміни); дозволяє сконцентрувати бітрейт на номерній пластині, а не на статичному фоні	Скорочення інтервалу І-кадрів підвищує точність OCR на швидкісних трасах, але збільшує обсяг трафіку

2.3. Програмно-апаратна інтеграція з виконавчими механізмами та архітектура взаємодії з хмарними сервісами

Програмна реалізація фінального етапу алгоритмічного циклу в системах автоматизованого контролю доступу полягає у перетворенні результатів інтелектуальної аналітики на конкретні фізичні дії та передачі структурованої інформації у зовнішні мережеві сервіси. Центральним вузлом зберігання, верифікації та логічного співставлення даних в архітектурі пристроїв LPR BOX є інтегрована локальна система управління базами даних (СКБД), побудована на реляційній моделі SQLite. Вибір цієї технології зумовлений її високою швидкістю виконання пошукових запитів та повною незалежністю від зовнішніх серверів баз даних, що важливо для забезпечення автономності Edge-пристроїв. Внутрішня структура бази даних складається з набору таблиць, де ключовою є таблиця ідентифікаторів («білий список»), що містить поля для збереження текстового рядка номерного знака, опису власника та часових лімітів дії пропуску. Окремо функціонує журнальна таблиця (Log Table), яка в автоматичному режимі фіксує кожну подію проїзду, записуючи унікальний ідентифікатор події, позначку часу в універсальному форматі, результат розпізнавання та шлях до відповідного графічного файлу на файловій системі контролера. Програмна логіка виконує

SQL-запит до цієї бази в момент детекції номера, і лише при отриманні позитивного результату верифікації ініціюється подальший ланцюг керуючих команд. Узагальнену структуру передачі даних у такій гібридній архітектурі наведено на рисунку 2.1.



Рис 2.1 Гібридна архітектура системи контролю доступу на базі LPR BOX «Cyclops» з передачею метаданих на сервер VMS

Взаємодія програмного ядра з фізичними бар'єрами, такими як автоматичні шлагбауми або ворота, здійснюється через модуль програмного управління релейними виходами. Програмне забезпечення контролера дозволяє адміністратору гнучко налаштовувати логіку спрацьовування вбудованого реле типу «сухий контакт». Після програмного підтвердження легітимності номера система генерує низькорівневу команду на замикання контактів, тривалість якої (керуючий імпульс) задається в налаштуваннях у мілісекундах. Важливою функціональною особливістю є можливість програмування часових затримок та умовних сценаріїв: наприклад, система може бути сконфігурована на витримку певної паузи між моментом розпізнавання та фізичним відкриттям, що необхідно для синхронізації з датчиками безпеки (фотоелементами або індукційними петлями). Весь програмний цикл — від отримання результату з бази даних до фізичної активації реле — займає мінімальний проміжок часу, що забезпечує

практично миттєву реакцію виконавчих механізмів системи на появу дозволеного автомобіля.

Окремим високотехнологічним рівнем програмної інтеграції є архітектура взаємодії з екосистемою Telegram за допомогою відкритих протоколів REST API. Після успішної ідентифікації транспортного засобу контролер LPR BOX ініціює створення структурованого пакету даних у форматі JSON (JavaScript Object Notation). Цей пакет містить унікальний ідентифікатор бота (API-токен), адресу цільового чату (Chat ID) та розширений текстовий блок із результатами розпізнавання. Для передачі візуальних підтверджень використовується метод HTTP POST запиту, де графічний файл (скріншот) передається у вигляді бінарного потоку даних. Програмна реалізація підтримує механізм зворотного зв'язку за допомогою кнопок Inline Keyboard: при отриманні сповіщення адміністратор може відправити зворотну JSON-команду на пристрій для примусового ручного відкриття шлагбаума. Така програмна гнучкість перетворює локальний пункт пропуску на керований вузол Інтернету речей (IoT), що дозволяє здійснювати повне адміністрування об'єкта та оперативний моніторинг без необхідності використання складних пропрієтарних програмних комплексів.

РОЗДІЛ 3. ПРАКТИЧНА ІНСТАЛЯЦІЯ, КОНФІГУРАЦІЯ ТА ПУСКОНАЛАГОДЖЕННЯ АПАРАТНО-ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ

3.1. Монтаж обладнання, оптичне калібрування та організація кабельної інфраструктури

Процес практичної реалізації системи інтелектуальної відеоаналітики розпочинається з етапу ретельного просторового проектування та розрахунку геометричних параметрів встановлення оптичних сенсорів. Для забезпечення

точності розпізнавання номерних знаків на рівні понад 98%, фізичне розташування IP-камер, має відповідати математичним вимогам алгоритмів комп'ютерного зору. Важливим параметром є кут нахилу оптичної осі об'єктива відносно площини номерного знака цільового автомобіля. Згідно з інженерними стандартами побудови LPR-систем, вертикальний кут нахилу камери не повинен перевищувати тридцяти градусів, а горизонтальне відхилення від осі руху транспортного засобу має бути зведене до мінімуму і також не перевищувати тридцяти градусів. Перевищення цих граничних значень призводить до критичного перспективного спотворення символів, з яким не здатні впоратися навіть передові алгоритми попередньої нормалізації зображення (OCR). Крім того, кут крену самої камери відносно горизонту не повинен перевищувати п'яти градусів. Інженери також повинні враховувати траєкторію руху сонця протягом доби, щоб мінімізувати пряме потрапляння сонячних променів в об'єктив. Незважаючи на наявність інтегрованих апаратних систем компенсації засвічення WDR та HLC, пряме сонячне світло може викликати оптичні відблиски на склі об'єктива, що суттєво знижує контрастність зображення.

Фізичний монтаж камер відеоспостереження вимагає використання спеціалізованих кріплень та жорстких опорних конструкцій. Камера повинна встановлюватися на вібростійкій опорі на висоті від двох до чотирьох метрів над рівнем дорожнього полотна. Використання нестабільних конструкцій, таких як підвісні троси або тимчасові опори, є неприпустимим, оскільки вітрові навантаження викликають мікровібрації об'єктива. У темну пору доби, коли матриця камери працює з довшими витримками для захоплення світла, такі вібрації призводять до ефекту розмиття зображення в русі (motion blur), що робить номерний знак абсолютно нечитабельним для нейромережевих алгоритмів. Враховуючи експлуатацію в агресивних вуличних умовах, камери, що використовуються в проекті, мають відповідати промисловому стандарту захисту IP67, що гарантує повну пило- та вологонепроникність. Моделі, орієнтовані на складні кліматичні умови, додатково оснащуються вбудованими нагрівальними

елементами, які забезпечують безпечний «холодний старт» і стабільну роботу обладнання при температурах до мінус сорока градусів за Цельсієм, ефективно запобігаючи утворенню конденсату або інею на захисному склі об'єктива.

Наступним етапом є організація мережевої та силової кабельної інфраструктури, яка зв'язує ізольовані оптичні сенсори з центральними обчислювальними потужностями. Для передачі високоякісного відеопотоку без стиснення або з мінімальною компресією, а також для забезпечення живлення камер використовується технологія Power over Ethernet (PoE) стандарту IEEE 802.3at (PoE+). Це дозволяє передавати масиви цифрових даних і електричний струм потужністю до 30 Вт по одному кабелю, що спрощує монтаж і знижує витрати на прокладання окремих силових ліній. Для побудови надійної магістралі застосовується мідний кабель звитої пари категорії 5e або 6. В умовах промислових об'єктів або бізнес-центрів із високим рівнем електромагнітних завад від силового обладнання перевага обов'язково віддається екранованим кабелям (FTP або STP), які захищають цифровий сигнал від деградації та втрати пакетів. Комутація кабельних ліній здійснюється в спеціальних герметичних монтажних коробках, що постачаються в комплекті з ANPR-камерами. У цих же боксах розміщуються інтерфейси для підключення мікрофонів, динаміків двостороннього зв'язку та фізичні роз'єми для встановлення промислових карт пам'яті формату MicroSD. Встановлення локального флеш-накопичувача є обов'язковим технічним кроком для реалізації технології автоматичного відновлення мережі (ANR), яка гарантує безперервне збереження відеоархіву та логів розпізнавання навіть у випадку фізичного обриву магістрального кабелю або тимчасової втрати зв'язку із центральним сервером.

Контролери розпізнавання серії LPR BOX («Orthus», «Hydra», «Cyclops») монтуються безпосередньо в металевій тумбі автоматичного шлагбаума або у всепогодній шафі поряд із зоною проїзду. Корпуси пристроїв мають кріплення VESA 75×75, що забезпечує жорстку фіксацію на вертикальній поверхні. Живлення контролерів подається через комплектний блок живлення DC 5В,

підключення до IP-камер виконується кабелем витой пари категорії 5е. Для моделі «Cyclops» додатково передбачено місце для кріплення 3G/4G-модема з антеною

Завершальною фазою фізичної інсталяції є безпосередній монтаж автономних обчислювальних модулів лінійки LPR BOX та їхня електрична інтеграція з виконавчими механізмами контрольно-пропускного пункту. Завдяки компактним габаритам та промисловій збірці, ці мікрокомп'ютери найчастіше монтуються безпосередньо в металевій тумбі автоматичного шлагбаума (що є типовим і рекомендованим рішенням для моделей «Hydra» або «Orthus») або у всепогодних кліматичних шафах поруч із зоною проїзду. Підключення виконавчого механізму до аналітичного контролера вимагає створення надійного гальванічно розв'язаного контакту для запобігання пошкодженню мікропроцесора струмами високої напруги. Фізично це реалізується шляхом прокладання сигнального двожильного кабелю від вбудованих релейних виходів LPR BOX до плати управління шлагбаумом. Використовується класична промислова схема підключення типу «сухий контакт», де задіяні клеми нормально розімкненого стану (Normally Open — NO) та загального контакту (Common — COM). На материнській платі шлагбаума або автоматичних воріт цей кабель підключається до клем покрокового управління (залежно від виробника приводу вони маркуються як Step-by-Step, Open або Start). Логіка роботи цієї електричної ділянки полягає в тому, що після успішної візуальної ідентифікації номерного знака та його програмної верифікації за локальною базою дозволеного доступу, мікроконтролер подає імпульс на реле. Реле фізично замикає контакти на заданий у налаштуваннях проміжок часу (зазвичай від 0.5 до 2 секунд). Це короткочасне електричне замикання повністю імітує для плати шлагбаума натискання фізичної кнопки на пульті охорони, автоматично ініціюючи підняття стріли без жодного втручання людини.

Таблиця 3.1

Основні вимоги до монтажу та кабельної інфраструктури LPR-системи

Параметр / Компонент	Вимога або норматив	Мета та інженерне обґрунтування
Вертикальний кут нахилу камери	$\leq 30^\circ$ до площини номера	Запобігання критичному перспективному спотворенню символів, з яким не справляються алгоритми OCR
Горизонтальне відхилення	$\leq 30^\circ$ від осі руху	Мінімізація скосу зображення, збереження прямокутної форми пластини для коректної сегментації
Крен камери	$\leq 5^\circ$ відносно горизонту	Уникнення діагонального зміщення символів, яке потребує додаткових афінних перетворень
Висота встановлення	2–4 м над дорожнім полотном	Оптимальний компроміс між оглядом зони проїзду та захистом від прямих відблисків фар

Продовження таблиці 3.1

Опорна конструкція	Вібростійка, жорстка (заборонені троси, тимчасові опори)	Усунення мікровібрацій, які вночі спричиняють motion blur через довшу експозицію
Захист корпусу камери	IP67 (пило- та вологозахист)	Стабільна робота в умовах дощу, снігу, пилу; запобігання внутрішній конденсації

Кліматичний діапазон	Від -40°C до +60°C, інтегрований обігрів скла	Гарантований «холодний старт», відсутність інею та обмерзання захисного скла
Живлення та передача даних	PoE+ (IEEE 802.3at), потужність до 30 Вт	Один кабель для живлення та відеопотоку; спрощення монтажу, зменшення кількості з'єднань
Кабельна магістраль	Вита пара Cat 5e/6; за наявності завад – FTP/STP (екранована)	Захист цифрового сигналу від електромагнітних завад, запобігання втраті пакетів
Локальне зберігання	MicroSD-карта (промислова), встановлена в герметичному боксі	Реалізація Automatic Network Recovery (ANR): безперервний запис навіть при обриві мережі
Підключення шлагбаума	«Сухий контакт» (NO + COM), двожильний сигнальний кабель, імпульс 0.5–2 с	Гальванічна розв'язка, безпечне керування виконавчим механізмом без втручання людини

Продовження таблиці 3.1

Монтаж LPR BOX	У тумбі шлагбаума або шафі з кліматичним захистом IP54+; кріплення VESA 75×75; живлення DC 5В	Мінімізація довжини сигнальних кабелів до виконавчого механізму, захист від пилу та вологи, зручне обслуговування
----------------	---	---

На рисунку 3.1 наведено приклад організації підключення контролерів LPR BOX «Orthus» (для одностороннього КПП) та «Hydra» (для двостороннього КПП) до мережевого обладнання та робочого місця адміністратора.

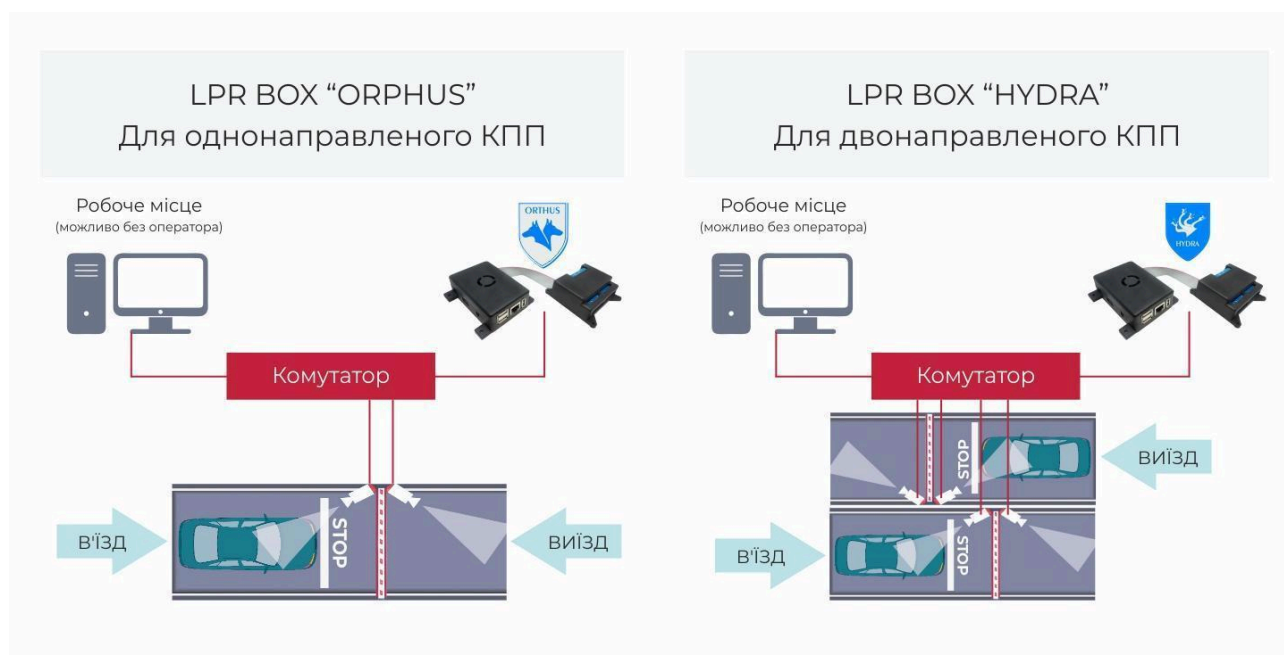


Рис. 3.1 Схема підключення LPR BOX до інфраструктури КПП

3.2. Програмна конфігурація, калібрування зон детекції та налаштування сценаріїв роботи

Після завершення фізичного монтажу обладнання, прокладання кабельних трас та підключення виконавчих механізмів настає етап програмної конфігурації системи. Саме на цьому етапі «залізо» перетворюється на інтелектуальну систему контролю доступу. Вся програмна конфігурація автономних контролерів лінійки LPR BOX здійснюється через вбудований WEB-інтерфейс, доступ до якого отримується через стандартний браузер за IP-адресою пристрою. Інтерфейс побудований за принципом «одного вікна» і не потребує встановлення додаткового пропрієтарного програмного забезпечення на робочу станцію адміністратора.

Першим кроком після входу в систему є базова мережева конфігурація контролера. Адміністратор задає статичну IP-адресу, маску підмережі та шлюз за замовчуванням відповідно до топології локальної мережі об'єкта. Для забезпечення віддаленого доступу (у тому числі для роботи Telegram-бота)

налаштовується перенаправлення необхідних портів через NAT (Network Address Translation) на межовому маршрутизаторі. На цьому ж етапі встановлюються параметри NTP-сервера (Network Time Protocol) для точної синхронізації системного годинника контролера з еталонним джерелом часу. Це є важливим, оскільки всі записи в журналі подій повинні мати коректні часові мітки для формування доказової бази, і розбіжність навіть у кілька секунд може поставити під сумнів достовірність архіву.

Центральне місце в програмній конфігурації посідає калібрування зон детекції та налаштування параметрів відеопотоку. Через WEB-інтерфейс адміністратор отримує доступ до живого відеозображення з IP-камери, на яке він накладає полігональну маску віртуальної зони інтересу (Region of Interest — ROI). Це графічний інструмент, що дозволяє точково окреслити область кадру, в якій очікується поява номерної пластини автомобіля. Все, що перебуває поза межами цього полігону (зустрічні смуги, тротуари, дерева, сусідні будівлі), ігнорується алгоритмами детекції, що суттєво знижує навантаження на процесор та унеможливорює хибні спрацьовування. Для коректного налаштування ROI інженер керується правилом: ширина зони має бути достатньою для захоплення номера з урахуванням можливих відхилень траєкторії руху, а висота — мінімально необхідною, щоб виключити детекцію фар або решітки радіатора як номерної пластини.

Після визначення просторової зони пошуку налаштовуються параметри якості відеопотоку, що надходить від камери до контролера. У WEB-інтерфейсі LPR BOX передбачено можливість вибору роздільної здатності (від 1080p до 4MP залежно від моделі камери), частоти кадрів (від 15 до 60 FPS) та типу кодека (H.264 або H.265). Для локальних об'єктів зі швидкістю до 40 км/год рекомендованою є частота 25–30 FPS при роздільній здатності 4MP, що забезпечує надлишкову просторову інформацію для багатокادрового аналізу. Для магістральних систем (до 190 км/год) частота підвищується до 50–60 FPS при роздільній здатності 1080p, оскільки пріоритетом є мінімізація часових проміжків

між кадрами, а не просторова деталізація. Окремим параметром є налаштування інтервалу опорних кадрів (GOP): для швидкісних трас інтервал І-кадрів скорочується до мінімуму, що збільшує бітрейт, але гарантує відсутність компресійних артефактів на зображенні рухомого номера.

Наступним рівнем конфігурації є налаштування логіки прийняття рішень — сценаріїв роботи. Адміністратор визначає, які саме дії має виконати контролер при різних результатах розпізнавання. Для автомобілів із «білого списку» стандартним сценарієм є автоматичне відкриття шлагбаума (замикання реле на 1–2 секунди) з одночасним формуванням запису в журналі та, за потреби, відправкою інформаційного сповіщення в Telegram. Для автомобілів, відсутніх у базі («неідентифіковані»), налаштовується окремий сценарій: контролер може або проігнорувати такий транспортний засіб (без відкриття), або сформулювати тривожне сповіщення адміністратору з фотографією та кнопкою ручного пропуску. Для номерів із «чорного списку» сценарій зазвичай передбачає негайне відправлення сповіщення і блокування виконавчих механізмів.

Важливою складовою програмної конфігурації є налаштування часових розкладів допуску на глобальному рівні. Через WEB-інтерфейс адміністратор може задати, що автоматичне відкриття шлагбаума за «білим списком» діє лише в певні дні тижня (наприклад, з понеділка по п'ятницю) та в заданий часовий діапазон (наприклад, з 7:00 до 22:00). У нічний час система може бути переведена в режим «ручного контролю», коли будь-який проїзд потребує підтвердження від оператора. Така гнучкість дозволяє адаптувати логіку роботи КПП під реальні потреби об'єкта без необхідності постійного втручання в налаштування.

Завершальним етапом програмної конфігурації є налаштування резервного копіювання та синхронізації. У WEB-інтерфейсі передбачено можливість створення повного бекапу конфігураційного файлу, який містить усі налаштування, списки доступу та сценарії. Цей файл може бути завантажений на зовнішній носій або відправлений на FTP-сервер за розкладом. У разі виходу контролера з ладу або необхідності швидкого розгортання нового КПП,

адміністратору достатньо завантажити цей конфігураційний файл у новий пристрій, що скорочує час відновлення системи до кількох хвилин.

Таблиця 3.2

Основні етапи програмної конфігурації LPR BOX

Етап конфігурації	Інструмент / Розділ WEB-інтерфейсу	Ключові параметри	Примітки
Мережеві налаштування	Network Settings	IP-адреса, маска, шлюз, NTP-сервер, проброс портів	Обов'язково для віддаленого доступу та Telegram
Калібрування ROI	Video Analytics → Detection Zone	Полігональна маска (4–6 вершин)	Виключає хибні спрацьовування, знижує навантаження CPU

Продовження таблиці 3.2

Налаштування відеопотоку	Camera Settings	Роздільна здатність (1080p/4MP), FPS (25–60), кодек (H.264/H.265), GOP	Залежить від швидкісного режиму об'єкта
--------------------------	-----------------	--	---

Сценарії роботи	Actions / Scenario	Дії для «білих», «чорних»; тривалість імпульсу реле (0.5–2 с)	Гнучке налаштування під політику безпеки об'єкта
Часові розклади	Schedules	Дні тижня, часовий діапазон для автоматичного пропуску	Дозволяє обмежувати доступ у неробочий час
Резервне копіювання	Maintenance → Backup/Restore	Експорт/імпорт конфігураційного файлу, FTP-синхронізація	Прискорює відновлення після збою

3.3. Формування локальних баз даних, управління логікою допуску та налаштування віддаленого моніторингу через екосистему Telegram

Після завершення базового геометричного калібрування просторових зон детекції та налаштування мережевих параметрів, процес налагодження переходить до етапу формування програмної бізнес-логіки системи. Фундаментом цієї логіки є створення та адміністрування локальних баз даних ідентифікаторів, які в термінології систем контролю доступу поділяються на дозволені («білі») та заборонені («чорні») списки. На відміну від застарілих серверних рішень, де база даних фізично відірвана від пристрою зчитування, архітектура автономних контролерів серії LPR BOX передбачає зберігання всіх структурованих масивів інформації безпосередньо у внутрішній енергонезалежній пам'яті мікрокомп'ютера. Процес первинного наповнення бази здійснюється через

захищений WEB-інтерфейс, де адміністратор системи створює цифрові профілі для кожного транспортного засобу. Інтерфейс містить таблиці зареєстрованих подій, статуси доступу («дозволено/заборонено») та хронологію проїздів (рисунок 3.2).

Номер	Статус	Обнаруженное время въезда	Подтвержденное время въезда	Обнаруженное время выезда	Подтвержденное время выезда	IP адрес источника видео
070BK9	allowed	2019-02-01 14:07:45	NULL	2019-02-01 14:07:46	NULL	192.168.10.15
80US	denied	2019-02-07 11:28:28	NULL	NULL	NULL	192.168.10.15
070BK9	denied	2019-02-07 11:29:08	NULL	NULL	NULL	192.168.10.15
070BK9	denied	2019-02-07 13:44:59	NULL	NULL	NULL	168.10.15
070BK9	denied	2019-02-07 13:44:42	NULL	NULL	NULL	168.10.15
070BK	denied	2019-02-07 13:44:44	NULL	NULL	NULL	168.10.15
8258AK	denied	2019-02-07 14:09:26	NULL	NULL	NULL	168.10.35
CB258AK	allowed	2019-02-07 14:10:31	NULL	NULL	NULL	168.10.35
8258AK	denied	2019-02-07 14:11:08	NULL	NULL	NULL	192.168.10.35
258AK	denied	2019-02-07 14:12:31	NULL	NULL	NULL	192.168.10.35

plate	datetime
A0341HB	2019-06-13 18:00:19
A2727BE	2019-06-13 18:00:11
A5179EO	2019-06-13 18:00:10
AA7291KA	2019-06-13 18:00:06
A15731EB	2019-06-13 18:00:04
A3254AP	2019-06-13 18:00:01
AA6143EI	2019-06-13 17:59:40
AM606EA	2019-06-13 17:59:29

Рис. 3.2 Веб-інтерфейс LPR BOX: журнал подій та таблиця ідентифікації транспортних засобів

Кожен такий профіль являє собою комплексний запис, який містить не лише буквено-цифровий ідентифікатор (державний реєстраційний номер автомобіля), але й розширені метадані: текстовий опис (наприклад, прізвище власника або назву компанії-підрядника) та строгі часові рамки легітимності допуску. Можливість встановлення точної дати і часу початку та закінчення дії пропуску є важливою функцією для комерційних об'єктів. Це дозволяє системі автоматично блокувати доступ для резидентів житлових комплексів або орендарів бізнес-центрів у разі закінчення терміну дії їхнього договору або виникнення

фінансової заборгованості за паркомісце, повністю виключаючи необхідність ручного втручання оператора для видалення запису з бази.

Найбільш затребуваним інженерним рішенням у рамках конфігурації сучасних систем лінійки LPR BOX є налаштування модуля двосторонньої асинхронної комунікації через канал месенджера Telegram. Ця інтеграція змінює модель взаємодії користувача з інфраструктурою безпеки, дозволяючи відмовитися від розробки та підтримки дорогих пропрієтарних мобільних додатків. На технічному рівні процес налаштування починається зі створення віртуального робота (бота) на серверах Telegram за допомогою системного інструменту BotFather, який генерує унікальний ключ доступу — API-токен. Отриманий токен разом із цифровим ідентифікатором цільового чату інтегрується у відповідний розділ WEB-інтерфейсу LPR BOX. З цього моменту мікрокомп'ютер починає функціонувати як незалежний клієнт, здатний ініціювати відправку пакетів даних на сервери месенджера. Логіка роботи цього каналу налаштовується таким чином, що при кожній успішній ідентифікації транспортного засобу (незалежно від того, чи присутній він у «білому списку», чи ні), система миттєво формує та відправляє push-сповіщення адміністратору або групі відповідальних осіб. Це інформаційне повідомлення має структурований формат: воно обов'язково містить розпізнаний номерний знак у вигляді машинописного тексту, точний час події з точністю до секунди, вектор руху (в'їзд або виїзд) та прикріплений графічний файл (скріншот) високої роздільної здатності, що наочно підтверджує факт проїзду. Приклад такого сповіщення, отриманого адміністратором у Telegram, наведено на рисунку 3.3

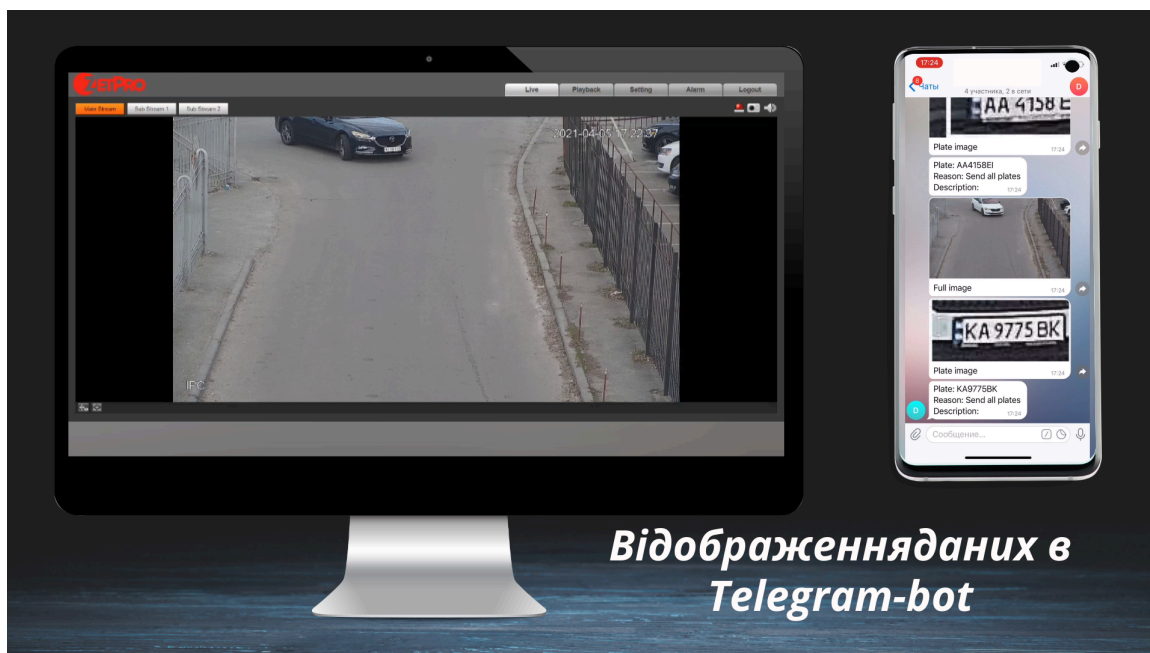


Рис. 3.3 Інтерфейс Telegram-бота зі сповіщенням про проїзд транспортного засобу

Окрім функції пасивного моніторингу, інтеграція з Telegram-ботом реалізує повноцінний канал віддаленого управління базами даних та виконавчими механізмами за допомогою спеціального синтаксису команд. Адміністратор системи, перебуваючи в будь-якій точці світу за наявності доступу до мережі Інтернет, має можливість динамічно редагувати локальні списки доступу контролера, відправляючи боту форматовані текстові повідомлення. Згідно з протоколом обміну даними LPR BOX, для додавання нового автомобіля до бази використовується суворий синтаксичний шаблон, де змінні розділяються символом решітки: «НОМЕР#ОПИС#ГТГГ-ММ-ДД ЧЧ:ММ:СС#ГТГГ-ММ-ДД ЧЧ:ММ:СС». Наприклад, відправка команди формату «AM7777AC#Кур'єрська доставка#2024-08-12 10:00:00#2024-08-12 12:00:00» змушує контролер автоматично розпарсити цей рядок, створити новий запис у базі даних і надати вказаному транспортному засобу право безперешкодного проїзду виключно у визначене дводинне вікно. Якщо необхідність у часових обмеженнях відсутня, синтаксис спрощується до формату «НОМЕР#ОПИС». Отримавши таку команду,

програмне забезпечення LPR BOX проводить транзакцію запису в пам'ять і повертає в чат системне повідомлення про успішне збереження даних. Крім адміністрування списків, інтерфейс бота містить віртуальні кнопки для примусового ручного керування релейними виходами. Натискання кнопки «Відкрити» в чаті ініціює відправку зашифрованого API-запиту на контролер, який негайно замикає контакти реле, піднімаючи стрілу шлагбаума. Ця функція є незамінною для організації гостьового доступу або пропуску автомобілів спеціальних служб, скасовуючи потребу у фізичній присутності охоронця на контрольно-пропускному пункті.

РОЗДІЛ 4. ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ АПАРАТНО-ПРОГРАМНИХ РІШЕНЬ ДЛЯ ОБ'ЄКТІВ ІЗ РІЗНИМ ШВИДКІСНИМ РЕЖИМОМ ТРАФІКУ

4.1. Фізичні та алгоритмічні обмеження при захопленні динамічних об'єктів

Проектування систем автоматичного розпізнавання номерних знаків вимагає розуміння взаємозв'язків між кінематичними характеристиками цільового транспортного засобу, оптико-електронними параметрами світлочутливої матриці відеокамери та обчислювальними алгоритмічними обмеженнями процесорного модуля. Головною фізичною проблемою, що неминуче виникає при фіксації автомобіля в стані інтенсивного руху, є оптичний ефект змазування або розмиття зображення в динаміці (motion blur). З точки зору кінематики та оптики, цей ефект проявляється тоді, коли за час відкритого стану електронного затвора камери (часу експозиції) проекція номерного знака встигає зміститися на площині світлочутливої матриці на відстань, що перевищує розмір одного фізичного пікселя. Математично це можна описати через відношення швидкості об'єкта до часу витримки: наприклад, транспортний засіб, що рухається зі швидкістю 150 кілометрів на годину, долає близько 41,6 метра за секунду. При стандартній телевізійній витримці в 1/30 секунди автомобіль встигне зміститися на 1,38 метра за час формування одного кадру, що перетворить номерний знак на абсолютно нечитабельну розмиту смугу. Відповідно, для нівелювання цього фізичного явища на швидкісних магістралях час експозиції необхідно апаратно обмежувати до надкоротких значень порядку 1/2000 або навіть 1/4000 секунди, де зміщення об'єкта складатиме лише кілька міліметрів і не виходитиме за межі допустимої похибки.

Однак таке скорочення часу накопичення заряду породжує фотометричну дилему для інженерів-проектувальників. Зменшення часу відкритого затвора в тисячі разів призводить до експоненційного падіння кількості фотонів, що

встигають досягти поверхні фотодіодів CMOS-сенсора. Внаслідок цього вихідне зображення стає недоекспонованим, особливо в умовах недостатнього освітлення або в нічний час. Спроба програмної компенсації нестачі світла шляхом агресивного підвищення світлочутливості матриці (параметрів Gain або ISO) неминуче призводить до різкого зростання теплового та цифрового шуму — хаотичної генерації паразитних кольорових та яскравіснісних пікселів, які руйнують корисну візуальну інформацію. Зниження співвідношення корисного сигналу до шуму (Signal-to-Noise Ratio, SNR) є фатальним фактором для роботи нейромережових алгоритмів розпізнавання. Оптичне розпізнавання символів (OCR) на базовому математичному рівні спирається на пошук чітких градієнтних переходів між контурами літер та фоном номерної пластини. Якщо ці просторові градієнти зруйновані високочастотним цифровим шумом, нейронна мережа не здатна провести коректну сегментацію символів, і відсоток успішної ідентифікації стрімко наближається до нуля.

Додатковим, але не менш важливим апаратним бар'єром при зйомці високошвидкісних об'єктів є архітектура зчитування даних із самої CMOS-матриці. Переважна більшість сучасних IP-камер використовує технологію построкового зчитування (Rolling Shutter), при якій рядки пікселів експонуються та передають дані на процесор не одночасно, а послідовно, зверху вниз. При високій лінійній швидкості автомобіля це призводить до виникнення специфічного геометричного спотворення — ефекту «желе» (jello effect), коли прямокутна номерна пластина на підсумковому кадрі набуває форми скошеного паралелограма. Оскільки більшість нейромережових еталонів OCR натреновані на строгі вертикальні шрифти, сильний діагональний скіс символів робить їх нерозпізнаваними. Для подолання цієї проблеми програмне забезпечення змушене залучати додаткові обчислювальні ресурси для проведення складних афінних перетворень на льоту, програмно вирівнюючи перспективу кожного кадру перед тим, як передати його на модуль читання тексту. Альтернативним, але значно дорожчим вирішенням цієї проблеми є використання матриць із глобальним

затвором (Global Shutter), де всі пікселі зчитуються одномоментно, проте такі сенсори мають меншу світлочутливість, що знову повертає нас до проблеми фотометричного голодування.

Крім суто оптичних та матричних обмежень, існують також суворі алгоритмічні вимоги до просторової дискретизації відеопотоку та його компресії. При фіксації магістрального трафіку стандартної частоти у 25 або 30 кадрів на секунду (FPS) виявляється катастрофічно мало: автомобіль може перетнути вузьку цільову зону фокусування (Region of Interest) за лічені долі секунди, не залишивши жодного ідеального фронтального кадру. Застосування спеціалізованих камер із частотою 60 FPS вирішує проблему дискретизації, але генерує величезний масив нестиснених даних. Використання стандартних алгоритмів міжкадрового стиснення (H.264/H.265) для зменшення бітрейту створює нову загрозу — компресійні артефакти. Ці кодеки оптимізовані для збереження статичного фону та плавних рухів; при швидкому русі дрібних деталей (таких як символи номера) алгоритм може використовувати передбачувані (P-frames) або двонаправлені (B-frames) кадри, які "розмазують" текст задля економії бітрейту. Тому для систем LPR на високих швидкостях вимагається не лише потужний процесор для декодування, але й спеціальне налаштування потоку: зменшення інтервалу опорних кадрів (I-frames) або повний перехід на покадрове стиснення (MJPEG), що додатково підвищує вимоги до пропускну здатності локальних мереж. Таким чином, інженерне проектування відеоаналітики зводиться до пошуку філігранного компромісу між фізикою світла, математикою матричного зчитування та алгоритмами стиснення цифрового потоку.

4.2. Специфіка побудови систем відеоаналітики для локальних об'єктів (швидкісний режим до 40 км/год)

Проектування систем автоматичного контролю доступу для локальних інфраструктурних об'єктів — таких як закриті житлові комплекси, підземні

паркінги бізнес-центрів, логістичні термінали або промислові зони — базується на принципово іншій кінематичній та фотометричній моделі порівняно з магістральними рішеннями. На таких об'єктах рух транспортних засобів регламентований правилами внутрішнього розпорядку, а їхня швидкість штучно обмежується інженерними спорудами (штучними нерівностями, звуженнями проїзної частини) і зазвичай не перевищує 30-40 кілометрів на годину. Більше того, кінематичний профіль автомобіля в зоні дії камери (перед шлагбаумом) має характер інтенсивного гальмування аж до повної зупинки. Така передбачувана і низькошвидкісна динаміка дозволяє інженерам кардинально змінити параметри оптико-електронного тракту. За відсутності ризику виникнення критичного розмиття зображення (motion blur), електронний затвор IP-камери може бути налаштований на значно довші витримки — від 1/100 до 1/500 секунди. Це вирішує проблему фотометричного голодування матриці, описану в попередньому розділі. Збільшення часу експозиції дозволяє сенсору накопичити достатню кількість фотонів навіть уночі, забезпечуючи високе співвідношення сигнал/шум (SNR) та формуючи яскраве, контрастне зображення без необхідності штучного підвищення світлочутливості (Gain/ISO), що унеможливорює появу деструктивного цифрового шуму.

Оптимізація часу експозиції відкриває можливість для використання матриць із підвищеною просторовою роздільною здатністю, що є технологічно невиправданим на високошвидкісних трасах. Для локальних об'єктів галузевим еталоном є застосування спеціалізованих ANPR-камер, що оснащуються сенсорами формату 1/1.8 дюйма з роздільною здатністю 4 мегапікселі. Підвищена щільність пікселів на дюйм дозволяє алгоритмам комп'ютерного зору захоплювати номерний знак із безпрецедентною деталізацією. Якщо на двомегапіксельній матриці ширина стандартної номерної пластини може займати від 130 до 150 пікселів, то чотиримегапіксельний сенсор забезпечує щільність понад 250 пікселів на ширину номера. Ця надлишкова просторова інформація є важливою для ідентифікації забруднених, фізично пошкоджених або частково затертих номерних

знаків, оскільки нейронна мережа отримує набагато більше мікроградієнтів для коректної сегментації та класифікації пошкоджених літер. Додатково, використання моторизованих об'єктивів із 4-кратним або 10-кратним оптичним збільшенням дозволяє ідеально відкалібрувати розмір цільової зони (ROI) відповідно до архітектурних особливостей конкретного в'їзду.

Незважаючи на сприятливі кінематичні умови, локальні об'єкти генерують власні, складні фотометричні виклики, головним з яких є специфіка освітлення. Оскільки дистанція від камери до автомобіля, що зупинився перед бар'єром, зазвичай становить лише 5-10 метрів, світловий пучок від увімкнених фар ближнього або дальнього світла потрапляє в об'єктив під прямим кутом, створюючи екстремальне локальне пересвічення (відблиск). Для боротьби з цим явищем апаратна частина камер залучає максимальні ресурси процесора обробки зображень (ISP). Технологія компенсації зустрічного засвічення HLC (Highlight Compensation) миттєво ідентифікує пікселі, які досягли порогу насичення, і динамічно інвертує їхню яскравість до темно-сірих значень. Паралельно працює система апаратного розширення динамічного діапазону (True WDR 120 дБ), яка формує фінальний кадр шляхом математичного злиття кількох знімків, зроблених із різною витримкою. Це дозволяє зберегти видимість світловідбивного номерного знака, що знаходиться в глибокій тіні між двома сліпучими фарами. У періоди повної відсутності зовнішнього освітлення активується інтегрований інфрачервоний прожектор. Завдяки короткій дистанції фокусування, ІЧ-випромінювання на довжині хвилі 850 нм забезпечує рівномірне, густе підсвічування номерної пластини без ефекту віньєтування (затемнення по краях кадру).

Алгоритмічна перевага роботи на низьких швидкостях полягає у можливості застосування складних методів мультифреймового аналізу. Оскільки автомобіль наближається до шлагбаума зі швидкістю 10-20 км/год, він перебуває в полі зору оптичного сенсора протягом двох-трьох секунд. При частоті відеопотоку 30 кадрів на секунду автономний мікрокомп'ютер (наприклад, LPR BOX «Orthus» або

«Hydra») має можливість захопити не один випадковий знімок, а послідовність із 60-90 повноцінних кадрів. Обчислювальний модуль проводить детекцію та оптичне розпізнавання (OCR) на кожному десятому або п'ятому кадрі з цієї вибірки. Далі застосовується математичний алгоритм статистичного агрегування: система порівнює результати розпізнавання різних кадрів одного й того ж автомобіля. Якщо на першому кадрі цифра була розпізнана як "8", а на трьох наступних — як "3" (наприклад, через відблиск або краплю дощу), алгоритм застосовує логіку «мажоритарного голосування» і виводить найбільш статистично достовірний результат. Саме такий багаторазовий перехресний аналіз, у поєднанні з часом обробки близько 50-100 мілісекунд, дозволяє автономним рішенням досягати безпрецедентної точності ідентифікації понад 98%, що є критичним параметром для автоматизованих КПП, де кожна помилка призводить до створення заторів та необхідності ручного втручання оператора.

4.3. Архітектура систем магістрального моніторингу та розпізнавання на високих швидкостях (від 100 до 190 км/год)

Інший інженерно-математичний підхід застосовується при проектуванні систем автоматичного контролю для швидкісних автомагістралей, платних доріг та міських транспортних артерій. На таких об'єктах кінематичний профіль цільового об'єкта характеризується безперервним, рівномірним рухом на швидкостях, що можуть сягати 190 кілометрів на годину. За таких умов транспортний засіб перетинає віртуальну зону детекції (Region of Interest) за лічені долі секунди, що повністю унеможлиблює використання довгої експозиції та алгоритмів тривалого статистичного накопичення кадрів, які ефективно працюють на паркінгах. Для гарантованого запобігання ефекту розмиття (motion blur) електронний затвор камери апаратно фіксується на надкоротких витримках (від 1/1000 до 1/4000 секунди). Зважаючи на такий екстремальний дефіцит часу для накопичення фотонів, використання багатомегапіксельних сенсорів (4 або 8

Мп) стає технологічно недоцільним, оскільки надмірно малий фізичний розмір окремого пікселя призводить до катастрофічного падіння світлочутливості матриці. Саме тому галузевим стандартом для швидкісних трас є використання сенсорів формату 1/2.8 або 1/2.7 дюйма з роздільною здатністю 2 мегапікселі (Full HD 1080p). Більший фізичний розмір пікселя у таких матрицях дозволяє захоплювати максимальну кількість світла навіть при надкоротких витримках, генеруючи яскравий та позбавлений цифрового шуму відеопотік із частотою від 30 до 60 кадрів на секунду.

Обробка такого високоінтенсивного потоку даних у реальному часі вимагає залучення спеціалізованих обчислювальних платформ, яскравим представником яких є автономний мікрокомп'ютер LPR BOX модифікації «Cyclops». Цей апаратно-програмний комплекс розроблений спеціально для магістрального застосування і побудований на базі високопродуктивного процесора Quad-core Cortex-A7. Зважаючи на те, що автомобіль перебуває в кадрі мінімальний час, алгоритми комп'ютерного зору в пристрої оптимізовані для роботи в режимі екстремально низької затримки (ultra-low latency). Згідно з технічними регламентами, час повної детекції, локалізації номерного знака, оптичного розпізнавання символів (OCR) та валідації результату в базі даних для моделі «Cyclops» становить лише 50 мілісекунд. Для забезпечення стабільної передачі відеопотоку від IP-камери до обчислювального ядра без втрати кадрів використовується жорстка апаратна прив'язка до кодека стиснення H.264, який забезпечує оптимальний баланс між ступенем компресії та швидкістю розкодування піксельного масиву в оперативній пам'яті контролера, дозволяючи системі впевнено обслуговувати одну або дві смуги руху одночасно. Приклад роботи LPR-системи на завантаженій автомагістралі наведено на рисунку 4.1.



Рис. 4.1 Детекція номерних знаків вантажних автомобілів на швидкісній трасі

Функціональна логіка роботи магістральних систем також відрізняється від систем локального контролю доступу. На швидкісних трасах відсутні виконавчі механізми (шлагбауми або ворота), тому головним завданням системи є не управління фізичним допуском, а безперервне потокове журналювання трафіку та миттєве виявлення автомобілів-порушників. Враховуючи географічну віддаленість таких комплексів від центральних серверних вузлів та високу вартість прокладання оптоволоконних ліній зв'язку вздовж трас, LPR BOX «Cyclops» передбачає можливість прямого підключення зовнішніх телекомунікаційних 3G/4G модемів. Уся первинна обробка та математична аналітика відбувається локально («на борту» пристрою), а через бездротовий канал передаються лише легкі текстові метадані (розпізнаний номер, точний час, географічна прив'язка камери) та один графічний скріншот. Цей масив даних інтегрується у глобальне програмне забезпечення для формування загальноміської статистики або роботи систем класу «Безпечне місто». У разі ідентифікації номерного знака, що перебуває в глобальному «чорному списку» (наприклад, автомобіль у розшуку), система через інтегрований API-модуль миттєво відправляє тривожне push-сповіщення у Telegram-канал патрульної поліції або служби безпеки. Це

дозволяє оперативно реагувати на загрози, перехоплюючи транспортний засіб на наступних вузлах магістралі, що підкреслює високу оперативну ефективність децентралізованої Edge-архітектури в масштабах державних транспортних мереж.

4.4. Теоретичне моделювання впливу швидкості на якість розпізнавання

Для кількісної оцінки впливу швидкості транспортного засобу на здатність системи розпізнавати номерний знак було проведено теоретичне моделювання на основі рівняння розмиття зображення (motion blur). Розмиття Δ (у пікселях) визначається

$$\Delta = (v \cdot t \cdot R) / D$$

де v – лінійна швидкість автомобіля (м/с), t – час експозиції камери (с), R – роздільна здатність матриці по горизонталі (пікселів), D – ширина поля зору камери на відстані до об'єкта (м).

Для типових параметрів камери (роздільна здатність 1920×1080, поле зору 4 м на відстані 10 м, що відповідає 480 пікселів/м) було розраховано розмиття для швидкостей 40, 80, 120, 160, 190 км/год та стандартних витримок 1/100, 1/500, 1/1000, 1/2000, 1/4000 с. Результати зведено в таблицю 4.1.

Таблиця. 4.1.

Розмиття (motion blur) залежно від швидкості та витримки

Швидкість (км/год)	Витримка 1/100	1/500	1/1000	1/2000	1/4000
40	11 см → 110 пікс	2.2 см → 22 пікс	1.1 см → 11 пікс	0.55 см → 5.5 пікс	0.27 см → 2.7 пікс

Продовження таблиці 4.1

80	22 см → 220 пікс	4.4 см → 44 пікс	2.2 см → 22 пікс	1.1 см → 11 пікс	0.55 см → 5.5 пікс
120	33 см → 330 пікс	6.7 см → 67 пікс	3.3 см → 33 пікс	1.7 см → 17 пікс	0.83 см → 8.3 пікс
160	44 см → 440 пікс	8.9 см → 89 пікс	4.4 см → 44 пікс	2.2 см → 22 пікс	1.1 см → 11 пікс
190	53 см → 530 пікс	10.6 см → 106 пікс	5.3 см → 53 пікс	2.6 см → 26 пікс	1.3 см → 13 пікс

Як видно з таблиці, при швидкості 190 км/год навіть витримка 1/2000 с дає розмиття ≈ 26 пікселів, що перевищує ширину штриха символу (типово 15-20 пікселів). Це робить коректну сегментацію та оптичне розпізнавання неможливим без використання спеціалізованих алгоритмів компенсації або камер із глобальним затвором. Для швидкості 40 км/год достатньо витримки 1/1000 с (розмиття ≈ 11 пікселів, що менше за типову ширину штриха). Таким чином, теоретичне моделювання підтверджує, що для швидкісних режимів до 40 км/год допустимою є витримка 1/100–1/500 с, що забезпечує низький рівень шуму ($\text{SNR} > 40$ дБ) та точність розпізнавання $> 95\%$ за паспортними даними виробників. Для швидкостей 100–190 км/год необхідне скорочення витримки до 1/2000–1/4000 с, що знижує SNR до 20–30 дБ, вимагає потужного ІЧ-підсвічування або високочутливої матриці з великим пікселем (2 Мп, 1/2.8").

ВИСНОВКИ

У дипломній роботі виконано теоретичне дослідження архітектурних підходів, алгоритмічних рішень та апаратного забезпечення систем інтелектуальної відеоаналітики для автоматизованого контролю доступу автотранспорту на основі розпізнавання номерних знаків (LPR/ANPR). Відповідно до поставленої мети та завдань, отримано такі основні результати.

Аналіз традиційних систем контролю доступу показав, що рішення на основі RFID-карток, радіобрелоків або ручної реєстрації мають критичні недоліки: високий вплив людського фактора (втома, помилки, корупційні ризики), вразливість фізичних ідентифікаторів (втрата, копіювання, передача), значні експлуатаційні витрати (закупівля карток, обслуговування) та низьку пропускну здатність через необхідність зупинки транспортного засобу. Обґрунтовано доцільність впровадження LPR-технології, яка використовує державний номерний знак як унікальний, невіддільний від автомобіля ідентифікатор, що забезпечує повну автоматизацію процесу ідентифікації, ведення цифрового архіву проїздів та інтеграцію з виконавчими механізмами.

Досліджено дві основні архітектурні моделі побудови LPR-систем:

- *Децентралізована архітектура Edge Computing* (на базі автономних контролерів типу LPR BOX) забезпечує мінімальну затримку обробки (близько 50 мс), повну автономність (функціонує при обриві зв'язку з зовнішніми мережами), високу відмовостійкість (вихід з ладу одного пристрою не впливає на інші) та мінімальне навантаження на мережу (передаються лише текстові метадані та скріншоти). Основним обмеженням є лінійна залежність вартості від кількості КПП (окремий обчислювач для кожної зони проїзду).
- *Централізована серверна архітектура RTSP* дозволяє легко масштабувати систему (додавання нових камер без закупівлі окремих модулів),

використовувати будь-які стандартні IP-камери та забезпечує централізоване адміністрування (єдина база даних, журнали, відеоархів). Водночас вона залежить від стабільності та пропускну здатності мережі, а центральний сервер є єдиною точкою відмови, що призводить до зупинки всіх КПП у разі збою.

На основі порівняльного аналізу рекомендовано гібридний підхід: використання Edge-пристроїв на критичних КПП для забезпечення безперебійної роботи та паралельна передача метаданих на центральний сервер для глобального адміністрування та звітності.

Описано апаратну інфраструктуру LPR-систем. Визначено, що ключовими компонентами є: матриці Progressive Scan CMOS формату 1/2.8"–1/1.8" з роздільною здатністю 2–5 Мп, моторизовані об'єктиви з оптичним зумом 4–10х, технології апаратного покращення зображення (WDR до 120 дБ для компенсації контрастного освітлення вдень, HLC для придушення засвічення від фар вночі), інфрачервоні прожектори ($\lambda=850$ нм). Обчислювальні модулі децентралізованих систем будуються на базі енергоефективних процесорів ARM Quad-core Cortex-A7 під управлінням Linux, мають захист IP67/IK10 та робочий діапазон температур від -40 до +60 °C. Сформульовано вимоги до монтажу: вертикальний кут нахилу камери $\leq 30^\circ$, горизонтальне відхилення $\leq 30^\circ$, крен $\leq 5^\circ$, висота встановлення 2–4 м, обов'язкова вібростійка опора, живлення за технологією PoE+ (IEEE 802.3at), використання екранованих кабелів категорії 5e/6 за наявності електромагнітних завад.

Розглянуто програмні алгоритми комп'ютерного зору та мережеві протоколи. Деталізовано багатоступеневий конвеєр розпізнавання: захоплення кадру, визначення зони інтересу (ROI), просторова детекція, сегментація, оптичне розпізнавання символів (OCR) з використанням нейромережевих класифікаторів (підтримка шрифтів понад 50 країн), постобробка (мажоритарне голосування за кількома кадрами) та валідація в локальній базі даних SQLite. Час повного циклу становить ≈ 50 мс. Проаналізовано стек мережевих протоколів: RTSP – для управління сесією, RTP – для транспортування відеоданих з часовими мітками,

RTSP – для контролю якості. Розглянуто компроміси при виборі транспортного протоколу (UDP – мінімальна затримка, TCP – гарантована цілісність) та відеокодеків (H.264/H.265). Показано, що для високошвидкісних об'єктів необхідно скорочувати інтервал опорних І-кадрів (GOP) аж до режиму «тільки І-кадри», що підвищує бітрейт, але запобігає компресійним артефактам на номерному знаку.

На основі теоретичного моделювання впливу швидкості на якість зображення розроблено математичну модель розмиття (motion blur): $\Delta = (v \cdot t \cdot R) / D$, де v – швидкість (м/с), t – час експозиції (с), R – горизонтальна роздільна здатність матриці (пікселів), D – ширина поля зору камери (м). Для типових параметрів (1920×1080 пікселів, поле зору 4 м на відстані 10 м, що дає 480 пікселів/м) виконано розрахунки для швидкостей 40, 80, 120, 160, 190 км/год та витримок 1/100, 1/500, 1/1000, 1/2000, 1/4000 с. Отримано такі результати:

- при швидкості 40 км/год та витримці 1/500 с розмиття становить ≈ 22 пікселі, що знаходиться на межі допустимого (ширина штриха символу типово 15–20 пікселів);
- при швидкості 190 км/год навіть витримка 1/2000 с дає розмиття ≈ 26 пікселів, що перевищує ширину штриха, роблячи коректне розпізнавання неможливим без спеціальних алгоритмів або камер з глобальним затвором;
- при витримці 1/4000 с розмиття зменшується до ≈ 13 пікселів, що є прийнятним, однак така коротка експозиція потребує потужного ІЧ-підсвічування вночі через різке падіння співвідношення сигнал/шум (SNR знижується до 20–30 дБ).

Сформульовано практичні рекомендації для проектування LPR-систем залежно від швидкісного режиму:

- Для локальних об'єктів (швидкість до 40 км/год, паркінги, КПП житлових комплексів, бізнес-центрів):* рекомендується використовувати камери з

роздільною здатністю 4 Мп (сенсор 1/1.8"), частотою кадрів 25–30 FPS, витримкою 1/100–1/500 с, технологіями WDR та HLC, моторизованим об'єктивом. Допустиме використання матриць з Rolling Shutter. Обов'язкове налаштування віртуальних зон ROI, дотримання кутів нахилу $\leq 30^\circ$ та висоти монтажу 2–4 м. Для адміністрування доцільно інтегрувати Telegram-бота через REST API, що дозволяє динамічно керувати списками доступу та отримувати сповіщення.

- Для магістральних об'єктів (швидкість до 190 км/год, платні дороги, швидкісні траси):*необхідні спеціалізовані камери з сенсором 2 Мп (формат 1/2.8" для збільшення розміру пікселя), частотою кадрів 50–60 FPS, витримкою 1/2000–1/4000 с. Бажано використання матриць з глобальним затвором (Global Shutter) для уникнення геометричних спотворень (jello effect). Потрібне потужне ІЧ-підсвічування (дистанція 50–100 м). Рекомендується скорочувати інтервал І-кадрів (GOP) до мінімуму, а в ідеалі – переходити на покадрове стиснення MJPEG. Для передачі даних на віддалені сервери доцільно використовувати бездротові 3G/4G-модеми, передаючи лише метадані та скріншоти.

Обмеження дослідження полягають у відсутності доступу до промислового LPR-обладнання та полігону для натурних випробувань, тому всі висновки базуються на теоретичному аналізі, технічній документації та відкритих джерелах. Отримані кількісні оцінки (розмиття, співвідношення сигнал/шум, точність розпізнавання) є орієнтовними і потребують емпіричної верифікації в реальних умовах експлуатації. Перспективою подальших досліджень є проведення натурних випробувань на тестовому полігоні з використанням серійних ANPR-камер та автономних контролерів, а також адаптація отриманих рекомендацій для роботи в складних метеоумовах (туман, дощ, сніг).

Таким чином, усі завдання дипломної роботи виконано, мету досягнуто. Розроблені рекомендації можуть бути безпосередньо використані при

проектуванні автоматизованих систем контролю доступу для різних типів об'єктів – від невеликих паркінгів до швидкісних автомагістралей.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Gonzalez R. C., Woods R. E. Digital Image Processing. 4th ed. Hoboken : Pearson, 2018. 1168 p.
2. Szeliski R. Computer Vision: Algorithms and Applications. 2nd ed. Cham : Springer, 2022. 979 p.
3. Redmon J., Farhadi A. YOLOv3: An Incremental Improvement // arXiv preprint arXiv:1804.02767. 2018.
4. Shi W. та ін. Edge Computing: Vision and Challenges // IEEE Internet of Things Journal. 2016. Vol. 3, № 5. P. 637–646.
5. Satyanarayanan M. The Emergence of Edge Computing // Computer. 2017. Vol. 50, № 1. P. 30–39.
6. NVIDIA Corporation. DeepStream SDK Documentation [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://docs.nvidia.com/metropolis/deepstream/> (дата звернення: 27.04.2026).
7. Hikvision. ANPR Camera Solution Guide [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.hikvision.com/> (дата звернення: 05.05.2026).
8. Dahua Technology. Intelligent Traffic Solution Overview [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.dahuasecurity.com/> (дата звернення: 09.05.2026).
9. Kobi Software. Розпізнавання автомобільних номерів [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://kobi.ua/technological-solutions/plate-recognition/> (дата звернення: 11.03.2026).
10. Kobi Software. LPR BOX “ORTHUS” v1.2 [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://kobi.ua/en/product/lpr-box-orthus-v1-2-a-ready-made-solution-for-parking>

[-management-based-on-the-algorithm-for-recognizing-car-license-plates/](#) (дата звернення: 19.03.2026).

- 11.Kobi Software. LPR BOX “HYDRA” v1.2 [Електронний ресурс]. Режим доступу:

<https://kobi.ua/en/product/lpr-box-hydra-v1-2-is-a-ready-made-solution-for-parking-management-based-on-the-license-plate-recognition-algorithm/> (дата звернення: 28.03.2026).

- 12.Kobi Software. LPR BOX “CYCLOPS” v1.2 [Електронний ресурс]. Режим доступу:

<https://kobi.ua/en/product/lpr-box-cyclops-ver1-2-a-solution-for-recognizing-license-plates-of-cars-on-the-road/> (дата звернення: 07.04.2026).

- 13.Kobi Software. LPR Module : технічна документація [Електронний ресурс].

Режим доступу: https://kobi.ua/wp-content/uploads/2023/12/lpr_module.pdf (дата звернення: 15.04.2026).

- 14.Kobi Software. KOBİ LPR app for Dahua cameras : Datasheet [Електронний ресурс].

Режим доступу: <https://lpr.kobi.ua/wp-content/uploads/2022/11/DatasheetLPR.pdf> (дата звернення: 26.04.2026).

- 15.ZetPro. LPR BOX – Video Analytics Software [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://zetpro.com/lpr-box/> (дата звернення: 03.05.2026).

**ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ ТА ТЕХНОЛОГІЙ**

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: «Автоматизована система контролю доступу автотранспорту із застосуванням алгоритмів інтелектуальної відеоаналітики»

Виконала: здобувач вищої освіти група ІСД-41
Варвара Порицька
Керівник: к.т.н., доцент Ольга Полоневич

Актуальність: Зростання кількості транспорту вимагає ефективних систем контролю доступу. RFID та ручна реєстрація неефективні. Альтернатива — LPR-системи (розпізнавання номерів). Актуально: вибір архітектури (Edge vs Server-based) для різних швидкісних режимів.

Об'єкт: Автоматизовані системи контролю доступу на основі відеоанал

Предмет: Архітектурні моделі (Edge, Server-based RTSP), алгоритми LPR, обладнання, протоколи для різних швидкостей.

Мета: Порівняльна оцінка Edge та Server-based RTSP, визначення оптимальних конфігурацій, рекомендації.

Завдання:

- Аналіз недоліків традиційних систем, обґрунтування LPR.
- Дослідження архітектур Edge та Server-based.
- Опис апаратної інфраструктури та вимог.
- Розгляд алгоритмів CV та протоколів.
- Порівняння роботи LPR для швидкостей до 40 км/год та до 190 км/год.
- Практичні рекомендації.

Методи: Аналіз літератури, системний та порівняльний аналіз, теоретичне моделювання (експозиція, швидкість, якість зображення), аналіз відкритих датасетів.

Обмеження: Теоретичний аналіз (без доступу до промислового обладнання та полігону). Висновки потребують верифікації.

Практичне значення: Використання при проєктуванні СКД для ЖК, бізнес-центрів, терміналів, автомагістралей. Запропоновані налаштування забезпечують точність >98% та зниження витрат.

Еволюція систем контролю доступу

Критерій порівняння	Традиційні АСКД (RFID, брелоки)	Відеоаналітика LPR / ANPR
Основний ідентифікатор	Фізичний носій (картка, брелок, код)	Державний номерний знак (невіддільний від авто)
Вплив людського фактора	Низький (автоматичне зчитування)	Мінімальний (повністю автоматичний процес)
Ризик передачі / копіювання	Високий (картку легко передати або втратити)	Відсутній (номер неможливо скопіювати на інше авто)
Експлуатаційні витрати	Середні (постійна закупівля нових карт/батарейок)	Низькі (відсутність витратних матеріалів)
Пропускна здатність	Середня (потрібна зупинка біля зчитувача)	Висока (розпізнавання без зупинки, у русі)

Конвеєр інтелектуального LPR



Архітектурні моделі: Edge vs Server

Edge Computing (LPR BOX)

Повна автономність: Обробка здійснюється безпосередньо "на борту" мікрокомп'ютера поруч із камерою.

Переваги: Мінімальна затримка (~50 мс), стійкість до обриву зв'язку, низьке навантаження на мережу (передаються лише метадані).

Server-Based RTSP

Централізована обробка: Камери виступають лише сенсорами, надсилаючи важкі RTSP-відеопотоки на VMS сервер.

Переваги: Легке масштабування без закупівлі процесорів на кожен КПП, сумісність із будь-якими IP-камерами, єдина база даних.



Технічні моделі лінійки LPR BOX

Модель	Кількість каналів	Основне призначення	Макс. Швидкість	Апаратні особливості
LPR BOX «Orthus»	2 IP-камери	Односторонній КПП (1 в'їзд або 2 смуги)	До повної зупинки	HDMI, USB 2.0, Слот MicroSD
LPR BOX «Hydra»	4 IP-камери	Двосторонній КПП (в'їзд та виїзд одночасно)	До повної зупинки	4 релейних виходи, автономна БД SQLite
LPR BOX «Cyclops»	1 IP-камера	Високошвидкісні магістралі, контроль трафіку	До 190 км/год	3G/4G-модем (опція), кріплення VESA

Локальні об'єкти (до 40 км/год)

Рішення для КПП та паркінгів

Швидкість авто штучно обмежується перед шлагбаумом. Це дозволяє налаштувати витримку камери на $1/100 - 1/500$ с, забезпечуючи високе співвідношення сигнал/шум (SNR) та чіткість без шумів.

Рекомендовані сенсори: 4 Мп (1/1.8") для кращої деталізації. Інтеграція з Telegram API дозволяє керувати "білим списком" та відкривати реле віддалено за допомогою JSON-команд.

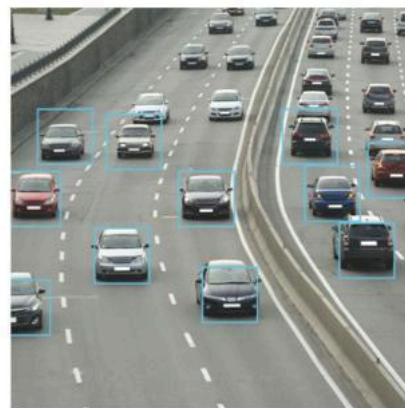


Швидкісні магістралі (до 190 км/год)

Рішення LPR BOX «Cyclops»

Потребує надкороткої витримки затвора ($1/2000 - 1/4000$ с) для повного уникнення розмиття руху (motion blur). Рекомендується роздільна здатність 2 Мп для збереження великого фізичного розміру пікселя.

Для усунення ефекту геометричного спотворення "желе" (jello effect) використовуються матриці з глобальним затвором (Global Shutter). Передача метаданих здійснюється через 3G/4G модем.



Моделювання оптичного розмиття

Фізика процесу розмиття (Motion Blur):

$$\Delta = \frac{v \cdot t \cdot R}{D}$$

Де v — швидкість авто, t — витримка, R — роздільна здатність матриці по горизонталі, D — ширина поля зору камери.

Швидкість	Витримка 1/100 с	Витримка 1/1000 с	Витримка 1/4000 с
40 км/год	110 пікс (розмито)	11 пікс (чітко)	2.7 пікс (ідеально)
120 км/год	330 пікс (розмито)	33 пікс (розмито)	8.3 пікс (чітко)
190 км/год	530 пікс (розмито)	53 пікс (розмито)	13 пікс (чітко)

Рекомендації щодо впровадження

Локальні об'єкти (<40 км/год)

- Камери 4Мп, True WDR 120дБ, компенсація зустрічного світла HLC.
- Кути нахилу відносно осі руху автомобіля: $\leq 30^\circ$ вертикально та горизонтально.
- Адміністрування через Telegram-бот для миттєвих повідомлень та керування доступом.

Швидкісні магістралі (<190 км/год)

- Камери 2Мп з великим розміром пікселя та Global Shutter сенсором.
- Ультракоротка витримка камери 1/2000 - 1/4000 секунди.
- Зменшення GOP-інтервалу опорних кадрів для усунення артефактів кодування.

Апробація результатів дослідження

VII Науково-технічна конференція «Сучасний стан та перспективи розвитку IoT», 20 квітня 2026 — «Автоматизована система контролю доступу автотранспорту із застосуванням алгоритмів інтелектуальної відеоаналітики»