Український державний університет залізничного транспорту
Кафедра експлуатації та ремонту рухомого складу

РОЗРОБЛЕННЯ ПРОПОЗИЦІЙ З ІНТЕГРАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЙ МАШИННОГО ЗОРУ В КОМПЛЕКС БЕЗПЕКИ ТЯГОВОГО РУХОМОГО СКЛАДУ.

Пояснювальна записка і розрахунки
до магістерської кваліфікаційної роботи

МКРМЕ 500.14.01 ПЗ

Розробив студент групи 221-ЛЛГ-Д24
спеціальності 273 Залізничний транспорт
Освітня програма: «Локомотиви та
локомотивне господарство»
(роботу виконано самостійно, відповідно
до принципів академічної доброчесності)

_____ Ярослав СТАЄЦЬКИЙ
(підпис)

Керівник:
професор кафедри ЕРРС, докт. техн. наук
Юрій ДАЦУН

Рецензент:
Професор кафедри «Інженерія вагонів
та якість продукції», д.т.н.
Василь РАВЛЮК

2026

Український державний університет залізничного транспорту

Факультет механіко-енергетичний
Кафедра експлуатації та ремонту рухомого складу
Освітньо-кваліфікаційний рівень: магістр
Спеціальність: 273. Залізничний транспорт
Освітня програма Локомотиви та локомотивне господарство

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри,
професор, д-р техн. наук
_____ В.Г. Пузир
(підпис)
«___» _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ
НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
Стаєцькому Ярославу Миколайовичу

1. Тема «Розроблення пропозицій з інтеграції технологій машинного зору в комплекс безпеки тягового рухомого складу»
керівник Дацун Юрій Миколаєвич, д.т.н., проф.
затверджено розпорядженням по механіко-енергетичному факультету
від «24» лютого 2026 року № 8.
2. Строк подання студентом закінченої роботи «12» червня 2026 року.
3. Вихідні дані Методичні вказівки по збору статистичної інформації в локомотивних депо(№471)_____
4. 1 Аналіз існуючих систем машинного зору тягового рухомого складу. 1.1 Аналіз методів контролю залізничної світлової сигналізації. 1.2 Методи виявлення перешкод на шляху прямування рухомого складу. 1.3 Структурно-функціональна організація бортових систем машинного зору. 2 Розроблення алгоритмів розпізнавання сигнальної інфраструктури та перешкод на шляху прямування. 2.1 Алгоритм первинного визначення координат світлофорів відносно поточного положення рухомого складу. 2.2 Алгоритм розпізнавання показань світлової сигналізації у відеопотоці. 2.3 Принципи побудови автоматичної системи запобігання зіткненням. 2.4 Алгоритм ідентифікації сторонніх об'єктів у габариті залізничної колії. 3 Математичне моделювання процесів виявлення об'єктів на рейковій колії. 3.1 Оцінювання просторових координат цільових об'єктів. 3.2 Формування площини ректифікації методами цифрової обробки зображень. 3.3 Дослідження завадостійкості алгоритму визначення об'єктів на колії. 4 Техніко-економічне обґрунтування інтеграції технологій машинного зору в комплекс безпеки. 4.1 Техніко-експлуатаційна характеристика запропонованого рішення. 4.2 Формування вихідних даних для проведення економічних розрахунків. 4.3 Розрахунок показників економічної ефективності від впровадження обладнання._____

5. Перелік графічного матеріалу 1 Загальна характеристика магістерської роботи. 2 Задачі та склад магістерської роботи. 3 Аналіз використання технологій комп‘ютерного зору на транспорті. 4 Загальний вигляд структури локомотивної системи технічного зору. 5 Принцип виявлення координат та кольору світлофора щодо поточного положення локомотива. 6 Принцип колібрування та розрахунку точності розпізнавання об'єктів. 7 Аналіз умов застосування автоматичної системи технічного зору. 8 Аналіз взаємозв’язків обладнання локомотива та системи технічного зору. 9 Характеристика елементів технічного зору, що встановлюються на локомотив. 10 Зони контролю комплексу відеокамер, встановлених на локомотиві. 11 Приклад відеосигналу, який отримується від системи технічного зору._____

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Техніко-економічне обґрунтування			

7 Дата видачі завдання «15» грудня 2025 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів проекту	Примітка
1	Отримання завдання на кваліфікаційну роботу. Формування змісту та етапів роботи.	15.12–25.12	
2	Збирання та обробка статистичної інформації	25.12–25.01	
3	Виконання роботи по розділам дипломного проекту. Аналіз одержаних даних, їх розрахунок та обробка	25.01–25.02	
4	Перевірка виконаних завдань у керівника дипломного проекту, виправлення помилок, виконання робіт по розділам консультантів	25.02–25.03	
5	Робота над оформленням графічної частини, проведення розрахунків та створення на їх підставі графічних матеріалів	25.03–25.04	
6	Перевірка виконаних робіт у керівника проекту, виправлення помилок, чистове виконання розділів дипломного проекту	25.04–10.05	
7	Нормоконтроль, виправлення помилок та підготовка до захисту	10.05–31.05	

Студент _____Стаєцький Я.М.

(підпис)

Керівник _____Дацун Ю.М.

(підпис)

Зміст

Вступ 7

1 Аналіз існуючих систем машинного зору тягового рухомого складу 10

1.1 Аналіз методів контролю залізничної світлової сигналізації 16

1.2 Методи виявлення перешкод на шляху прямування рухомого складу 18

1.3 Структурно-функціональна організація бортових систем машинного зору 19

2 Розроблення алгоритмів розпізнавання сигнальної інфраструктури та перешкод на шляху прямування 27

2.1 Алгоритм первинного визначення координат світлофорів відносно поточного положення рухомого складу 27

2.2 Алгоритм розпізнавання показань світлової сигналізації у відеопотоці 34

2.3 Принципи побудови автоматичної системи запобігання зіткненням 42

2.4 Алгоритм ідентифікації сторонніх об'єктів у габариті залізничної колії 47

3 Математичне моделювання процесів виявлення об'єктів на рейковій колії 53

3.1 Оцінювання просторових координат цільових об'єктів 53

3.2 Формування площини ректифікації методами цифрової обробки зображень 61

3.3 Дослідження завадостійкості алгоритму визначення об'єктів на колії 73

4 Техніко-економічне обґрунтування інтеграції технологій машинного зору в комплекс безпеки 84
4.1 Техніко-експлуатаційна характеристика запропонованого рішення 84
4.2 Формування вихідних даних для проведення економічних розрахунків 87
4.3 Розрахунок показників економічної ефективності від впровадження обладнання 88
Висновки 94
Список використаних джерел 96

АНОТАЦІЯ

Дана кваліфікаційна робота включає в себе 14 слайдів презентації та 99 аркушів пояснювальної записки формату А4, що містить 28 рисунків, 13 таблиць та 28 літературних джерел.

Ключові слова: МАШИННИЙ ЗІР, ТЯГОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД, БЕЗПЕКА РУХУ, ВІДЕОКОНТРОЛЬ, РОЗПІЗНАВАННЯ ОБ'ЄКТІВ, СВІТЛОВА СИГНАЛІЗАЦІЯ, ДЕТЕКТУВАННЯ ПЕРЕШКОД, ЛЮДСЬКИЙ ФАКТОР.

Мета роботи. Завданням дослідження є розроблення пропозицій щодо інтеграції технологій машинного зору в комплекс безпеки тягового рухомого складу для підвищення рівня безпеки руху, зниження негативного впливу людського фактора та створення умов для ефективного навчання локомотивних бригад.

Об’єкт дослідження – процес забезпечення безпеки руху тягового рухомого складу.

Предмет дослідження – методи та алгоритми обробки й аналізу відеоінформації в бортових системах машинного зору.

Робота присвячена вирішенню актуальної науково-практичної задачі підвищення надійності залізничних перевезень та адаптації експлуатаційної роботи до умов дефіциту кваліфікованих кадрів шляхом впровадження інтелектуальних систем допомоги машиністу. В ній теоретично обґрунтовано доцільність застосування програмно-апаратних комплексів машинного зору для безперервного моніторингу напільної інфраструктури. На основі математичного моделювання розроблено та досліджено алгоритми виявлення показань світлофорів і сторонніх об'єктів у габариті колії в умовах експлуатаційних завад. З урахуванням специфіки роботи залізничного транспорту доведено техніко-економічну ефективність інтеграції розробленої технології у штатні системи безпеки локомотивів.

ABSTRACT

This qualification work includes 14 presentation slides and 99 sheets of explanatory notes in A4 format, containing 28 figures, 13 tables and 28 literary sources.

Keywords: machine vision, traction rolling stock, traffic safety, video monitoring, object recognition, light signaling, obstacle detection, human factor.

Purpose of the study. The research objective is to develop proposals for integrating machine vision technologies into the safety system of traction rolling stock to increase traffic safety, reduce the negative impact of the human factor, and create conditions for the effective training of locomotive crews.

Object of research – the process of ensuring the traffic safety of traction rolling stock.

Subject of research – methods and algorithms for processing and analyzing video information in onboard machine vision systems.

The work is devoted to solving the urgent scientific and practical task of increasing the reliability of railway transportation and adapting operational work to the shortage of qualified personnel through the implementation of intelligent driver assistance systems. It theoretically substantiates the feasibility of using software and hardware machine vision systems for the continuous monitoring of wayside infrastructure. Based on mathematical modeling, algorithms for detecting traffic light signals and foreign objects within the track clearance under conditions of operational interference have been developed and investigated. Taking into account the specifics of railway transport operations, the technical and economic efficiency of integrating the developed technology into standard locomotive safety systems is proven.

Вступ

Залізничний транспорт є стратегічною кровоносною системою економіки та обороноздатності держави. Для збереження лідируючих позицій на ринку транспортних послуг та забезпечення надійних логістичних ланцюгів необхідно постійно впроваджувати найсучасніші технологічні рішення. Сьогодні залізнична галузь України зіткнулася з безпрецедентними викликами. Через повномасштабну військову агресію проти нашої держави значна кількість висококваліфікованих фахівців, зокрема машиністів та працівників локомотивних бригад, стали на захист Батьківщини. Це об'єктивно призвело до відчутного дефіциту досвідчених кадрів в експлуатаційній роботі [1].

У таких умовах критично зростає навантаження на наявних працівників, а отже, і ймовірність виникнення позаштатних ситуацій, пов'язаних із людським фактором. При тривалій поїздці на великих швидкостях машиністу складно безпомилково реагувати на небезпеку, вчасно ідентифікуючи показання світлофорів або наявність сторонніх об'єктів у габариті колії.

Система автоматичної локомотивної сигналізації (АЛС), що традиційно використовується на залізницях України для передачі показань напільних світлофорів, має ряд експлуатаційних вразливостей. Передача інформації по рейковому колу не виключає впливу намагніченості рейок, наведень від зовнішніх джерел та відмов приймально-передавальної апаратури. Такі збої у передачі інформації можуть призвести до розвитку аварійних ситуацій [2].

Саме тому модернізація бортових систем за рахунок інтеграції локомотивної системи машинного зору (СМЗ) є вкрай актуальним завданням. Застосування технологій комп'ютерного зору дозволить не лише здійснювати цілодобовий відеоконтроль напільних пристроїв та виявляти перешкоди на шляху прямування в режимі реального часу. В умовах нестачі кадрів, система

машинного зору виступатиме як надійний інтелектуальний асистент, що здатний суттєво пришвидшити та покращити процес навчання нових локомотивних бригад, допомагаючи їм адаптуватися до складних умов ведення поїзда.

Мета дослідження – розроблення пропозицій щодо інтеграції технологій машинного зору в комплекс безпеки тягового рухомого складу для підвищення рівня безпеки руху, зниження впливу людського фактора та створення умов для ефективного навчання локомотивних бригад.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

- Проаналізувати існуючі методи контролю залізничної світлової сигналізації та виявлення перешкод.

- Розробити та адаптувати алгоритми первинного визначення координат світлофорів і розпізнавання їх показань у відеопотоці.

- Провести математичне моделювання процесів ідентифікації сторонніх об'єктів на рейковій колії та дослідити завадостійкість алгоритмів.

- Виконати техніко-економічне обґрунтування доцільності впровадження розробленої системи машинного зору.

Об'єкт дослідження – процес забезпечення безпеки руху тягового рухомого складу.

Предмет дослідження – методи та алгоритми обробки й аналізу відеоінформації в бортових системах машинного зору.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в удосконаленні методики застосування систем машинного зору тягового рухомого складу, яка, на відміну від існуючих, комплексно вирішує задачі підвищення надійності автоматичного розпізнавання світлової сигналізації, детектування перешкод на шляху прямування в умовах інтенсивних завад, а також забезпечує інформаційну підтримку процесу підготовки локомотивних бригад.

Практичне значення отриманих результатів викладені у тезах доповіді Стаєцького Я.М. «Аналіз ефективності інтеграції систем машинного зору в

комплекс безпеки тягового рухомого складу», які опубліковані у матеріалах студентської науково-технічної конференції, 10-11 грудня. Харків, УкрДУЗТ, 2026. №85.

1 Аналіз існуючих систем машинного зору тягового рухомого складу

Більшість надзвичайних подій на залізниці трапляється за низкою обставин. Наприклад, численні проїзди на сигнал світлофорів, що забороняє, особливо на тепловозах ЧМЕ3, підтверджуються в усіх офіційних документах. Після розслідування вказуються одні й самі причини: відволікання локомотивної бригади, не проводилося спостереження за показаннями світлофорів, положеннями стрілочних перекладів, порушення регламенту службових переговорів [5]. На жаль, навіть багато досвідчених машиністів, які давно працюють на цих маневрових тепловозах, не виконують повністю всі правила технічної експлуатації, а працюють у багатьох випадках з інтуїції. Головне правило машиніста: «спочатку подивися на сигнал, а потім наводь тепловоз у рух» порушується несвідомо. Сучасні тенденції розвитку залізничного транспорту безпосередньо пов'язані з модернізацією та впровадженням нових технологій з метою мінімізації помилок людини-оператора у керуванні транспортним засобом. Огляд світового досвіду щодо застосування технологій комп'ютерного зору виявлення і розпізнавання світлової сигналізації показує ефективність використання таких рішень [6,7]. Застосування контролю світлової сигналізації з метою недопущення проїзду локомотивом сигналу світлофора, що забороняє, на сьогодні є одним з актуальних завдань на залізниці.

Зараз на ринку сучасних систем відеоконтролю існує багато типів відеосистем. Кожна відео система має свої переваги та свої недоліки. Для відеоконтролю світлової сигналізації на залізниці необхідне використання системи, що дозволяє ефективно застосовувати технології комп'ютерного зору, що у свою чергу висуває підвищені технічні вимоги для такої системи.

Наприклад, застосовуються стаціонарні пристрії відеоконтролю стану об'єктів залізничної автоматики (світлофорів, стрілок, рейкових ділянок колії та ін.), які складається з каналоутворювальної апаратури телеуправління та

телесигналізації системи диспетчерської централізації, розташованої на центральному пункті та на лінійних пунктах. Недолік пристрою полягає в тому, що використання стаціонарної відеоапаратури для спостереження за світловою сигналізацією має обмежену площу контрольованої ділянки і карликові світлофори часто перекриваються рухомим складом, що стоїть, також пристрій відеоконтролю стану об'єктів залізничної автоматики не має інтелектуального контролю світлової сигналізації. Для вирішення задачі контролю світлової сигналізації, відома модель системи передачі інформації про поїздну обстановку в кабіну машиніста локомотива. Недоліками системи управління радіоканалом є складності монтажу, обслуговування і висока вартість. Крім того, відсутність радіообладнання протягом більшості ліній залізниць не дозволяє забезпечити повноцінного контролю світлової сигналізації.

Наявні системи контролю світлової сигналізації не дозволяють забезпечити необхідні вимоги безпеки при проїзді на забороняючий сигнал світлофора. Безліч ситуацій, коли автоматична локомотивна сигналізація перемикалася або передавала сигнал білого кольору, але машиніст не вживав заходів для зниження швидкості, вказують на те, що локомотивними бригадами часто не приймаються необхідні вимоги до виконання нормативних документів з керування транспортним засобом. І якщо на перегонах сигнал білого кольору на автоматичній локомотивній сигналізації, як правило, відразу викликає у локомотивної бригади почуття занепокоєння, то на станціях перемикання автоматичної локомотивної сигналізації на білий колір деякі машиністи вважають, як звичайний збій у роботі або присутність у маршруті прямування некодованої секції шляху. При цьому заходи щодо зниження швидкості руху не вживаються, хоча при проходженні станції слід бути особливо уважним. Так само, як показує експлуатаційна практика, деякі чергові станції, щоб не фіксувати в ефірі та на реєстраторі затримки поїздів біля вхідних сигналів або на станції, не повідомляють про це машиністів поїздів, а машиністи після приїзду в депо не записують ці порушення в книзі

зауважень. В результаті проїзд на заборонний сигнал світлофорів зафіксований у 70% таких випадків [8].

Багато локомотивних бригад спочатку не налаштовуються на відповідальну роботу, допускають поспішність і елементарне невиконання посадових обов'язків: грубі порушення правил технічної експлуатації, інструкцій і вказівок, відсутність плану маневрів, не спостереження за свідченнями сигналів світлофорів, стрілочних перекладів та багато іншого. У більшості проїздів на заборонний знак світлофора автостоп або автоматична локомотивна сигналізація не запобігли проїзду, оскільки машиністи рефлекторно натискали рукоятку пильності та скасовували дії автоматичних систем, не спостерігаючи за показаннями локомотивних та колійних світлофорів [8].

Відхилення з відстані видимості сигналів вихідних світлофорів, які відповідають вимогам правил технічної експлуатації Укрзалізниці призводять до потрапляння локомотивних бригад у місця з поганою видимістю сигналів [8]. Наявність цих та подібних факторів порушень призводять до виникнення помилок людини-оператора та несанкціонованого проїзду на заборонний знак світлофора. Таким чином, доповнення комплексного локомотивного пристрою безпеки апаратурою для аналізу показань світлофора за допомогою технологій комп'ютерного зору дозволить забезпечити зниження помилок людини-оператора під час керування локомотивом.

На прикладі зарубіжних компаній розглянемо останні розробки, що підвищують економічну ефективність залізничного транспорту.

Австралійсько-британський концерн RioTinto ухвалив рішення застосовувати при транспортуванні залізної руди від західних австралійських шахт до порту автоматизовані поїзди. Дослідження, проведені під час розробки автоматизованих поїздів на базі системи «автомашиніст», показали, що надалі такий залізничний розвиток зможе задовольнити вимоги Азії. Багато розробників компанії Rio Tinto вважають, що розвиток проекту

автоведення – це важливий крок, який дозволить збільшити постачання руди для Китаю та інших країн, що економічно розвиваються. Автоматизацію проекту перевезень планується об'єднувати з існуючою системою управління поїздом для підвищення ефективності процесу інтеграції системи автоведення в існуючий процес перевезень. З розвитком та впровадженням технології автоведення проводяться додаткові розробки систем безпеки, зокрема модернізуються залізничні переїзди, розробляються нові стандарти для вантажних перевезень [9, 10, 11].

Німецький концерн Siemens TS розробив моторний вагон CargoMover, призначений для перевезення вантажів на короткі відстані у повністю автоматичному режимі. Система моніторингу шляху дозволяє в режимі реального часу безпомилково визначати наявність на шляху людини або перешкоди та за будь-якої погоди забезпечує необхідну безпеку. Інноваційний проект залізничного транспорту дозволяє комбінувати у собі переваги вантажного автомобіля та вантажного поїзда. Кожен транспортний засіб має корисний вантаж до 60 тонн, але використовує енергії менше двох вантажних автомобілів. Цей вагон дуже вигідний для використання його у залізничних вантажних перевезеннях на відстані до 150 км, що є економічно непривабливим для перевезень на звичайному вантажному поїзді. Комерційна привабливість такого вагона у тому, що доставка вантажу може бути замовлена індивідуально клієнтом. Як тільки замовлення буде введено в комп'ютер системи CargoMover, система автоведення автоматично визначає свій маршрут руху, погоджуючись з маршрутним розкладом руху поїздів. Пересування вагона CargoMover не блокує рух інших поїздів і працює без обмеження часу на залізничне пересування вночі.

Для виявлення перешкод на шляху прямування CargoMover використовує систему автоматичного моніторингу шляху, оснащену лазерними, радарними і відео датчиками. Встановлені на вагоні лазерні сканери та радіолокаційний радар дозволяє в режимі реального часу вести моніторинг шляху руху вагона CargoMover, а система відеоспостереження

дає можливість уточнювати цифрову модель шляху руху вагона, простір якої відображено у вигляді кристалічної решітки, сформованої лазерним сканером і радаром. Розпізнавання перешкод здійснюється шляхом супроводу фрагментів зображення у певних осередках ґрат. Цей спосіб розпізнавання дозволяє під час руху поїзда вести просте узгодження цифрової моделі руху вагона з цифровою картою колії, такий тип кореляційного аналізу значно прискорює обробку результатів для прийняття рішення системою автоведення. Використання видової інформації від відеокамер дозволяє отримувати додаткові ознаки перешкод перед вагоном на відстані до 50 метрів, місце розташування стрілочних переказів, а також проводити виявлення об'єктів на дорозі та міжшляхах. Для отримання якісного детектування об'єктів, що рухаються, використовуючи інформацію від відеокамер, необхідно мати достатню освітленість. Через це інформація від відеокамер на даний момент використовується тільки в денний час, але є можливість удосконалення системи шляхом оснащення потужними інфрачервоними прожекторами для роботи в темний час доби. Паралельно з процесом аналізу видової інформації система моніторингу колій вагона CargoMover веде передачу відеоінформації до ситуаційного центру, де контролюється рух вагона. Використання вагона CargoMover дозволяє провозити вантажі в автоматичному режимі звичайними залізничними залізничними шляхами, на яких визначаються «тимчасові вікна» у русі графіків поїздів. Таким чином, CargoMover став універсальним залізничним транспортним засобом для перевезення перероблених вантажів на малі відстані і є серйозним конкурентом вантажним автомобільним транспортним засобам [12,13].

Менеджери найбільшої у світі американської компанії General Electric, зацікавлені у підвищенні ефективності вантажних перевезень та зниженні витрат через нестачу кваліфікованого персоналу, дійшли висновку, що розробка засобів автоматичного контролю та управління рухом локомотива в автоматичному режимі дозволить підвищити ефективність та якість

вантажних перевезень на залізничному транспорті. Використання бездротових технологій передачі інформації на відстань дозволяє контролювати характеристики руху локомотива та технічний стан його основних систем у режимі реального часу. Встановлена на локомотиві система «інтелектуальний поїзд» дозволяє записувати на реєструючий пристрій поточну інформацію від датчиків діагностики, видову інформацію, звукову інформацію та траєкторні параметри руху поїзда. У разі надзвичайних обставин під час руху поїзда по радіоканалу в режимі реального часу здійснюється передача «тривожного сполучення» до ситуаційного центру. Отримані «тривожні повідомлення» обробляються диспетчером ситуаційного центру, який приймає рішення щодо можливості запобігання надзвичайній події. За допомогою технології бездротового зв'язку із ситуаційного центру можливе формування запиту у вигляді діагностичного повідомлення на діагностику основних систем локомотива. Система «інтелектуальний поїзд» після отримання «діагностичного сполучення» проводить діагностику поїзда і передає до ситуаційного центру повідомлення про стан основних ходових частин і систем поїзда. Інформація, що отримується в ситуаційному центрі від локомотива, аналізується диспетчером. У систему «інтелектуальний поїзд» входить система моніторингу шляхів LocoCAM, яка дозволяє проводити аналіз видової інформації на наявність надзвичайних ситуацій на шляхах прямування локомотива. Відеокамера, встановлена в кабіні локомотива, дозволяє виконувати оптичне наближення підозрілих об'єктів, а алгоритм системи моніторингу шляхів визначає міру важливості ситуації для безпечного руху локомотива. Зокрема реалізовано «алгоритм кинутих предметів з мосту» та «алгоритм визначення перешкод на шляху локомотива». Система моніторингу шляхів здійснює реєстрацію всієї видової інформації на бортовому самописці як реального часу [14].

Шведська транспортна компанія GreenCargo запровадила систему автоведення вантажним локомотивом за допомогою технології

дистанційного керування радіоканалом. Локомотив переважно використовується для виконання маневрових робіт. Управління локомотивом здійснюється оператором із переносної станції, підвішеної на грудях, або з диспетчерського пункту. Використання даної системи дистанційного водіння радіоканалом збільшило безпеку виконання маневрових робіт і скоротило кількість обслуговуючого персоналу під час проведення маневрових робіт [15].

Аналізуючи тенденції розвитку систем технічного зору в системах автоведення на залізничному транспорті, можна зробити висновок, що пошук рішень таких завдань, як контроль світлової сигналізації та виявлення сторонніх об'єктів на шляху прямування локомотива, актуальні і практично важливі з точки зору підвищення безпеки.

1.1 Аналіз методів контролю залізничної світлової сигналізації

Численні порушення правил транспортної експлуатації локомотивними бригадами, незадовільний контроль їх роботи з боку керівників та ревізорів вимагають впровадження нових автоматичних та напівавтоматичних засобів керування рухомим складом з метою підвищення безпеки руху. На сьогодні технічні розробки в галузі автоматичних та напівавтоматичних систем контролю стану підлогових залізничних пристроїв (світлофори та стрілочні переведення) не дозволяють повністю виключити відмови передавальної та приймальної апаратури. Фільтрація кодованого електричного сигналу не забезпечує виключення шумового впливу на аналіз інформації від пристроїв підлоги, яка передається по рейковому ланцюгу. Вплив намагнічених рейок, електромагнітні наведення від зовнішніх джерел та багато інших факторів є причиною частого збою під час роботи системи автоматичної сигналізації (АЛС) [4]. Для вирішення завдання підвищення надійності контролю стану

підлогових залізничних пристроїв необхідно розширити функціональні можливості апаратури комплексного локомотивного пристрою безпеки. Для цього пропонується застосовувати в поїзній роботі програмно-апаратний комплекс локомотивної системи технічного зору (ПАК ЛСТЗ). Сутність роботи ПАК ЛСТЗ полягає в тому, щоб знизити вплив помилок людини-оператора в процесі управління локомотивом та підвищити безпеку пересування на залізницях. Застосування технологій комп'ютерного зору в блоці обробки відеосигналів ПАК ЛСТЗ дозволяє автоматично проводити аналіз видової інформації з метою забезпечення безпеки руху локомотива в режимі реального часу, зокрема під час вирішення завдань контролю показань підлогових залізничних пристроїв.

Розробка алгоритмів детекції (виявлення світлофорів на зображеннях, що приймаються) та ідентифікації світлової сигналізації (ДІСС) пов'язана з рядом складно розв'язуваних завдань. Так, присутність хибної множини вогнів від залізничної інфраструктури, зміна часу доби або різні природні явища, такі як сонячне засвітлення або випадання опадів, ускладнюють виявлення світлофора, істотно підвищуючи ймовірність помилок типу помилкове спрацьовування (виявлення хибних об'єктів) або пропуск (не виявлення) світлофору.

Крім того, за цих умов ознаки яскравості і насиченості кольору сигналу світлофора, що визначаються, стають нестійкими, що призводить до помилок алгоритму розпізнавання сигналу світлофора.

У цій магістерській роботі обґрунтовується необхідність спільного використання технологій комп'ютерного зору та технологій геоінформаційного забезпечення об'єктів залізничної інфраструктури.

Засобом геоінформаційного забезпечення об'єктів є заздалегідь підготовлена цифрова карта місцевості (ЦКМ). Можливість комплексування відеоінформації та цифрової карти місцевості розглядається за наявності в системі технічного зору платформи, що гіростабілізується, і обчислювального блоку для розрахунку координат площини ректифікації на

послідовності зображень. Результатом комплексування даних є просторова база даних ГІС із нанесеною на ній інформацією про об'єкти інтересу [16,17].

1.2 Методи виявлення перешкод на шляху прямування рухомого складу

Значною мірою безпека руху локомотивів пов'язана з можливістю огляду дороги, що лежить попереду, і своєчасним виявленням сторонніх об'єктів. За видом роботи локомотиви поділяються на магістральні, які служать для водіння поїздів та маневрові, що використовуються для робіт на станціях.

На відміну від маневрових локомотивів магістральні використовуються на великих швидкостях і завжди прямують попереду рухомого складу. Своєчасне виявлення сторонніх об'єктів на магістральних локомотивах має забезпечувати достатній час для реакції машиніста та гальмування локомотива, що запобігає зіткненню із стороннім об'єктом.

Маневрові локомотиви пересуваються на коротких відстанях та зі швидкістю не більше 40 км/год. Рух маневрових локомотивів відбувається як попереду рухомого складу, і позаду, залежно від ситуації. У машиністів маневрового локомотива часто виникають складнощі з видовим оглядом шляхів проходження локомотива через необхідність штовхати рухомий склад ззаду, а також через наявність «мертвих зон видимості» при виконанні маневрів, що знижує безпеку руху і може призвести до виникнення небезпечних ситуацій. У деяких випадках наявність помічників у локомотивній бригаді не суттєво підвищує безпеку руху.

Численні факти дорожньо-транспортних пригод на залізничних переїздах підтверджують факт, що ділянки залізниці, що погано

контролюються, схильні до підвищеного ризику виникнення аварійної ситуації.

Системи технічного зору при цьому мають низку переваг. Вони забезпечують [18]:

- Безконтактний моніторинг шляхів проходження локомотива;
- Швидкодія інспекції у режимі реального часу;
- Об'єктивність (в автоматичному виконанні);
- Уніфікацію засобів апаратної підтримки.

Через складність розв'язуваних завдань із обробки видових даних існує необхідність розробки універсальних законів опису складних сцен [19]. Тому в роботі пропонується виконати аналізований пошук перешкод по дорозі локомотива є спільний процес роботи алгоритмів грубої і точної обробки поточної шляхової інформації. Під алгоритмами для грубої обробки шляхової інформації мається на увазі алгоритми, необхідні для побудови площини ректифікації, на поточному відеозображенні. Під алгоритмами точної обробки шляхової інформації маються на увазі алгоритми виділення залізничних рейок, виявлення координат точки можливого розриву на рейці та розрахунок допустимої дальності від локомотива до точки розриву.

1.3 Структурно-функціональна організація бортових систем машинного зору

На сьогодні відома велика кількість стаціонарних відеосистем, що дозволяють забезпечити запобігання аваріям у районах потенційно небезпечних ділянок залізничної колії. Результатом використання локомотивної системи технічного зору є розширення функціональних можливостей локомотивного пристрою безпеки за рахунок формування і передачі відеозображення ділянки залізничної колії, що попереджає, на

локомотив для розпізнавання сторонніх об'єктів (перешкод) на залізничній колії та порушень розміру рейкової колії.

Недоліком більшості подібних систем є неможливість оцінки аварійної ситуації, пов'язаної з наявністю сторонніх об'єктів на залізничній колії локомотива, що рухається.

Найбільш підходящим для вирішення задачі відеоконтролю шляху прямування локомотива є пристрій, до складу якого входять апаратні контролери визначення місця розташування локомотива щодо кількох розташованих залізничних колій використовується супутникова навігаційна система (СНС), відеокамера, цифрова карта місцевості (ЦКМ) залізничної колії (рисунок 1.1). Недолік пристрою полягає в тому, що воно не дозволяє отримувати гіростабілізоване зображення від відеокамери і, відповідно, визначати траєкторні параметри руху локомотива, а також відстань до небезпечних ділянок дороги.

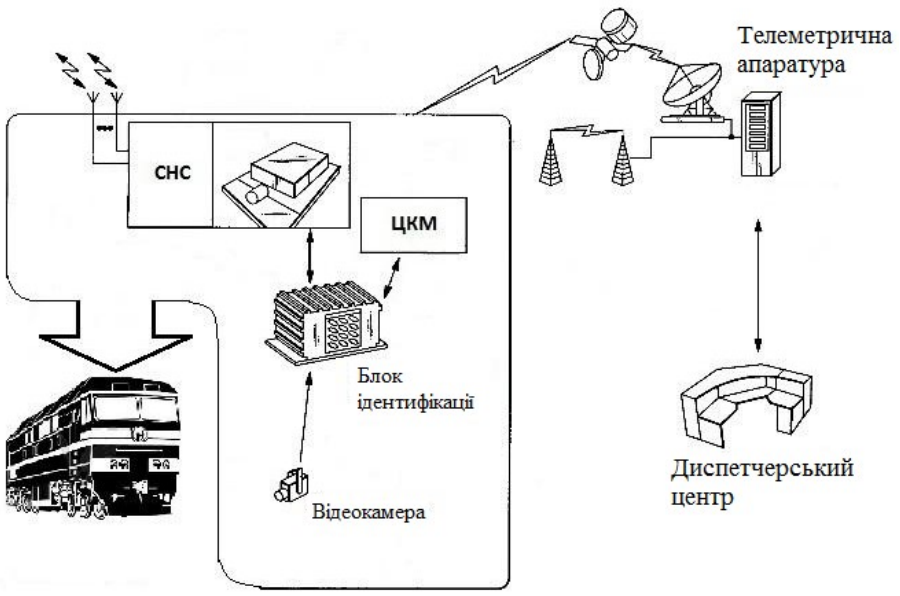


Рисунок 1.1 – Структура локомотивної системи технічного зору

З метою ефективного вирішення завдання контролю об'єктів колійної інфраструктури пропонується спільне використання технологій комп'ютерного зору та технологій геоінформаційного забезпечення об'єктів.

Розробка архітектури СТЗ та її функціонування у складі вже готових технічних засобів мають ґрунтуватися на критеріях та показниках необхідних для вирішення поставлених завдань [20,21]. Завдання запобігання зіткненню локомотива з небезпечними об'єктами, кинутими з мостів або тунельних входів, вимагає використання у СТЗ технічних пристроїв, точнісні характеристики яких дозволяють виконувати виявлення та розпізнавання небезпечних об'єктів на відстані, яка більша за гальмівний шлях локомотива [21]. Передбачається, що СТЗ, що пропонується, забезпечуватиме контроль областей інтересу на відстані до двох кілометрів (рисунок 1.2). З цією метою СТЗ пропонується використовувати гіроскопічний пристрій, призначений для стабілізації відеокамери, а також для визначення кутових відхилень локомотива. Поточні координати локомотива, що визначаються за допомогою супутникової навігаційної системи, пропонується комплексувати з цифровою картою місцевості та телевізійним зображенням з метою визначення поточних координат об'єктів, що детектуються на послідовності зображень за допомогою технологій комп'ютерного зору.

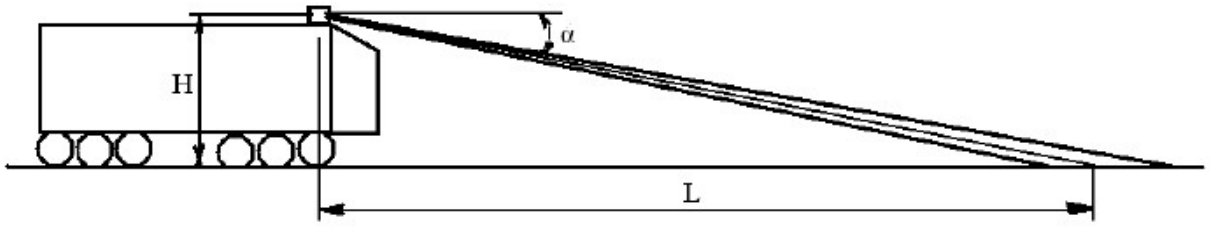


Рисунок 1.2 – Метод відеоконтролю областей інтересу

У зв'язку із зазначеними умовами передбачається, що локомотивна система технічного зору (рисунок 1.3) містить оптичну камеру 1 на платформі 2, що стабілізується, підключену до мікропроцесора 3 апаратури 4 управління локомотивом, блок 5 обробки зображень, блок 6 передачі сигналів зображення, блок 7 формування сигналів попередження і дисплей 8. Система включає блок 9 сполучення, блок 10 супутникової навігаційної

системи, блок 11 інерційної системи управління, блок 12 цифрової карти місцевості і блок 13 телеметричної апаратури, блок 14 побудови площини ректифікації. Причому вихід оптичної камери 1 підключений через блок передачі 6 сигналів зображення до першого входу блоку 9 сполучення. Виходи блоку 10 супутникової навігаційної системи, блоку 11 інерційної системи управління, блоку 12 цифрової карти місцевості і виходи датчиків платформи 2, що стабілізується відповідно підключені до другого, третього, четвертого і п'ятого входів блоку 9 сполучення. Перший вихід блоку 9 сполучення підключений через блок обробки 5 зображень до входу мікропроцесора 3, а другий вихід підключений до входу блоку 13 телеметричної апаратури. Причому блок обробки 5 зображень і блок 14 побудови площини ректифікації являють собою «систему на кристалі», засновану на платформі програмованої логічної інтегральної схеми.

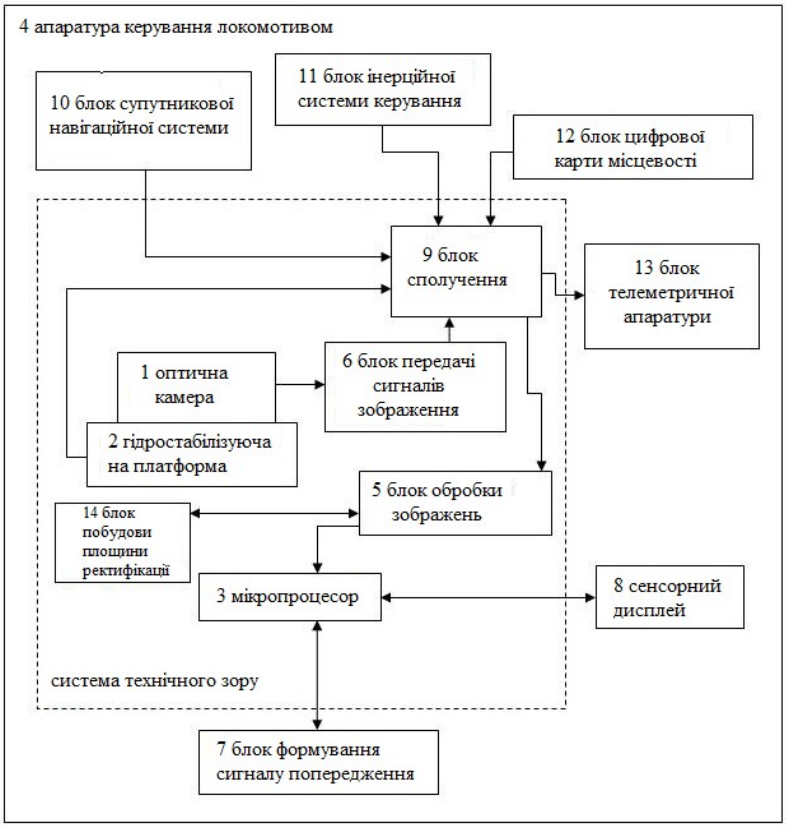


Рисунок 1.3 – Структурна схема локомотивної системи технічного зору

Локомотивна система технічного зору працює в такий спосіб. Відеозображення від оптичної камери 1, встановленої на платформі 2, що стабілізується, передається в блок 6 передачі сигналів зображення. Блок 6 передачі сигналів зображення являє собою пристрій, що приймає сигнал відеозображення від оптичної камери 1 і передає його блок 9 сполучення, який являє собою концентратор інформації від датчиків різної фізичної природи. До блоку 9 сполучення підключені виходи блоків 10, 11, 12 і датчики стабілізованої платформи 2. З датчиків стабілізованої платформи 2 на вхід блоку 9 сполучення видаються значення кутового відхилення оптичної камери 1. З блоку 10 супутникової навігаційної системи на вхід блок координати поточного положення локомотива. З блоку 11 інерційної системи управління надходить інформація про значення кутових швидкостей та прискорень переміщення локомотива. З блоку 12 цифрової карти місцевості надходить інформація про координати ділянки, що попереджає, залізничної колії. Перший вихід блоку сполучення 9 з'єднаний з входом блоку телеметричної апаратури 13. Змонтована на борту локомотива телеметрична апаратура дозволяє через ретранслюючий канал передавати телеметрію в диспетчерський центр управління рухом на залізниці. Другий вихід блоку 9 сполучення з'єднаний з входом блоку обробки 5 зображень, де за допомогою технологій комп'ютерного зору виконується контроль цілісності рейкової колії в режимі реального часу. Блок 5 обробки зображення і блок 14 побудови площини ректифікації є технологічною платформою для «системи на кристалі» - програмовану логічну інтегральну схему (ПЛІС). Блок 5 обробки зображень з'єднаний з мікропроцесором 3, де в автоматичному режимі вирішується завдання управління формування сигналу попередження машиніста про поїздну обстановку, і з блоком 14 побудова площини ректифікації, куди передаються відеозображення і поточна шляхова інформація, а приймаються розраховані в географічній системі шляху. Виходи та входи мікропроцесора 3 з'єднані з блоком 7 формування сигналу попередження та з дисплеєм 8 для привернення уваги

машиніста під час цільового контролю автоматично визначеної аварійної ділянки шляху прямування локомотива.

У разі виявлення порушень цілісності рейкової колії необхідно переконатися в працездатності блоку 10 супутникової навігаційної системи, так як програмна помилка виявлення цілісності рейкової колії може бути пов'язана з нестійкою роботою каналу супутникової навігаційної системи в умовах міської забудови, високогір'я або залізничної системи. З цією метою пропонується проводити порівняння поточних координат осі колії, що приймаються з блоку 14 побудова площини ректифікації, з координатами осі колії на цифровій карті місцевості. У разі розбіжності розрахункових координат осі колії на відеозображенні з координатами осі колії на цифровій карті місцевості, потрібно інформувати машиніста про відмову системи відеоспостереження з транспортного засобу через блок 7 формування сигналу попередження. У разі автоматичного виявлення розриву рейкової колії в блоці обробки 5 зображень необхідно отримати за допомогою підтвердження машиністом на дисплеї 8 команду про аварійне гальмування.

Поєднання виділеної інформації на відеозображенні за допомогою технологій комп'ютерного зору з інформацією цифрової карти місцевості, на якій відображені координати залізничної колії, є математичним завданням, пов'язаним з використанням еластичних методів експоненційних деформації зображення. Процедура суміщення 2D інформації з 6 блоку передачі сигналів зображення з 3D інформацією від блоку 12 цифрової карти місцевості, переданих через блок 9 сполучення, відбувається в блоці 5 обробки зображень. Застосування в блоці обробки 5 зображень і блоці 14 побудова площини ректифікації ПЛІС, в якості технологічної платформи для «систем на кристалі», дозволяє уникнути ряд технічних і економічних завдань. «Система на кристалі», яка реалізована на платформі програмованої логіки має всі переваги надвеликої інтегральної схеми (НВІС) і незаперечні переваги. Наприклад, до переваг Flash-ПЛІС Actel необхідно віднести

можливість її багаторазового програмування як до монтажу ПЛІС у пристрій, і під час його використання всередині системи.

Одним із варіантів поєднання є технологія паралельної обробки відеоінформації. Використання паралельної обробки відеоінформації дозволить вирішити завдання контролю цілісності колії в режимі реального часу.

Автоматичний контроль цілісності рейкової колії в блоці обробки зображень 5 заснований на використанні комплексного алгоритму для виділення ознак типу рейок і визначенні положення рейки в земній системі координат. Отримані значення ознак порівнюються з даними заздалегідь записаного словника ознак (бази даних, еталонних зображень) і приймається рішення, наприклад, про відсутність рейки. У словник включаються різні групи ознак - ознаки форми, розподілу яскравостей, розмірів та ін. Передбачається, що виділення ознак на поточних зображеннях та зіставлення їх з ознаками на аналітичній карті реалізується в блоці 5 обробки зображень за допомогою комплексного алгоритму, заснованого на визначенні безперервності рейок як кореляційними алгоритмами, і статистичними методами виявлення і розпізнавання. Під аналітичною картою мається на увазі просторова база даних ГІС, що збирає результати обробки відеоінформації за допомогою технологій комп'ютерного зору про об'єкти інтересу. В неї входять: GPS/ГЛОНАСС координати локомотива, отримані з 10 блоку супутникової навігаційної системи; значення кутових швидкостей та прискорень переміщення локомотива, отримані з блоку 11 інерційної системи керування; GPS/ГЛОНАСС координати залізничної колії, отримані з блоку 12 цифрової карти місцевості; кутові відхилення відеокамери щодо землі від датчиків стабілізованої платформи 2.

Використання запропонованого технічного рішення дозволить виконати автоматизацію системи запобігання зіткненню локомотива за рахунок формування сигналу попередження машиністу і передачі попередження на відеозображенні ділянки залізничної колії на локомотив.

Ефективність системи відеоспостереження з транспортного засобу полягає у забезпеченні відеоконтролю рейкової колії за рахунок запропонованого методу суміщення відеозображення з навігаційною інформацією, у тому числі для виявлення координат рейкової колії з використанням цифрової карти.

2 Розроблення алгоритмів розпізнавання сигнальної інфраструктури та перешкод на шляху прямування

2.1 Алгоритм первинного визначення координат світлофорів відносно поточного положення рухомого складу

Алгоритм контролю залізничної світлової сигналізації за допомогою комплексного використання технології комп'ютерного зору та геоінформаційних технологій дозволяє виконати попереднє (грубе) виявлення світлофора на зображенні набагато швидше, ніж пошук світлофора за допомогою алгоритму суцільного пошуку. Для запропонованого алгоритму з попередньою оцінкою положення світлофора на зображенні кількість операцій суцільного пошуку обчислюється за формулою

$$Кол=(Хп-х)(Уп-у)*х*у*Кв, \quad (2.1)$$

де *Хп, Уп* – ширина і висота виділеного фрагмента зображення зі світлофором;

Кв – кількість операцій, необхідних виявлення об'єкта, що у скануючому вікні $A=\{(x,y)|\ x=30,\ y=90\}$;

х, у – ширина та висота скануючого вікна відповідно.

Таким чином, запропонований алгоритм дозволив скоротити обсяг обчислень більш ніж на 3 порядки (при прийнятих вихідних даних). Алгоритм грубого виявлення координат є алгоритмом аналізу системи проекцій світлофорів на площину ректифікації та географічних координат світлофорів на підстилаючій поверхні, яка збігається з площиною ректифікації. В ідеалі координати світлофорів на площині ректифікації

збігатимуться з координатами світлофорів на цифровій карті місцевості, але за наявності помилок комплексування інформації про положення світлофора на відео з цифровою картою місцевості виникає помилка Delta, яку необхідно враховувати при розрахунку грубого виявлення координат світлофора на відео (рисунок 2.1).

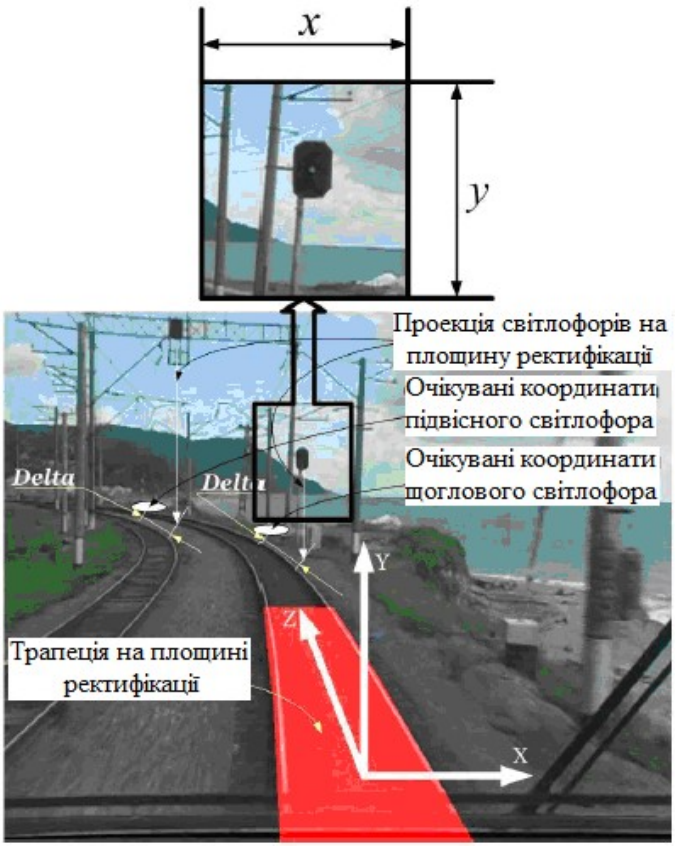


Рисунок 2.1 – Схема розрахунку точності координат об'єкта, що детектується.

За відсутності цифрової карти місцевості з об'єктами залізничної інфраструктури необхідно провести калібрувальні роботи, які дозволять прив'язати GPS/ГЛОНАСС координати та тип світлофора до кожного світлофора, що знаходиться на шляху проходження локомотива. За результатами проведення робіт проводиться формування електронної карти географічного позиціонування кожного світлофора з прив'язкою технічних характеристик світлофора до репозиторію геоінформаційної системи. Методика проведення калібрувальних робіт передбачає застосування

калібрувального обладнання (КО) програмно-апаратного комплексу локомотивної системи технічного зору (ПАК ЛСТЗ), встановленого в кабіні локомотива.

До складу КО ПАК ЛСТЗ входить:

1) відеореєструюча апаратура (ВА);

2) тангента;

3) комутуючий блок (КБ);

4) покажчик тангенти (ПТ);

5) гіростабілізована платформа (ГСП);

6) автоматизоване робоче місце оператора (АРМ);

На рисунку 2.2 відображено структурну схему підключення КО для проведення калібрувальних робіт.

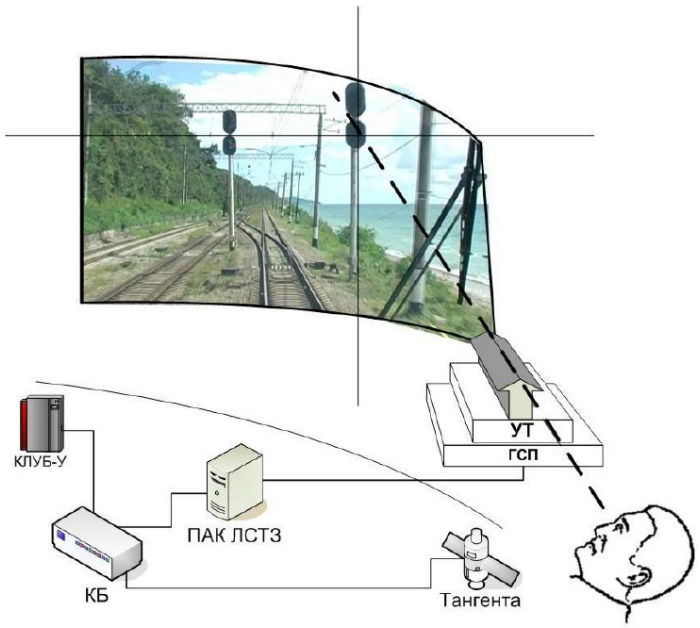


Рисунок 2.2 – Схема підключення калібрувального обладнання

Під час проведення калібрувальних робіт модуль супутникової навігаційної системи (СНС), що входить до складу КЛУБ-У, видає в ПАК ЛСТЗ із певною частотою в режимі реального часу поточні GPS/ГЛОНАСС координати. Гіростабілізована платформа, на якій встановлено покажчик тангенти, дозволяє компенсувати коливання при русі локомотива та

визначати ідеальний рівень горизонту для приведення локомотивної системи технічного зору до єдиної системи координат. Комутуючий блок (КБ) призначений для інформаційного зв'язку між апаратними модулями калібрувального обладнання. Апаратний модуль «тангента» є пристроєм для механічного введення разової команди «Вимірювання» в контур інформаційного обміну калібрувального обладнання. Апаратний модуль «Покажчик тангенти» є прицільним пристроєм для визначення кутового позиціонування об'єкта інтересу, зокрема, розглядаються залізничні світлофори щодо лінії візування локомотивної системи технічного зору.

Система калібрування працює в такий спосіб. Проводиться включення всіх апаратних модулів калібрувального обладнання. Через людино-машинний інтерфейс, встановлений на ПАК ЛСТЗ, виконується ініціалізація програмних модулів системи калібрування. Під час ініціалізації проводиться аналіз ініціалізації всіх апаратних модулів системи калібрування. Після коректного виконання команди «Ініціалізація» на робоче місце оператора видається сигнал «Калібрування» на проведення калібрувальних робіт. Під час включення режиму "Калібрування" через комутуючий блок з певною частотою в режимі реального часу виконується прийом програмно-апаратним комплексом локомотивної системи технічного зору супутникових координат від апаратного модуля СНР, що входить до КЛУБ-У. Під час виконання команди «Вимірювання» оператор наводить покажчик тангенти на світлофор і включає апаратний модуль тангенти. Під час включення апаратного модуля тангенти програмно-апаратним комплексом ЛСТЗ приймається разова команда про необхідність виміряти та зберегти кутові відхилення лінії візування ЛСТЗ від лінії покажчика тангенти. Команда «Вимірювання» виконується необхідну кількість разів для задоволення припустимої статистичної помилки математичного очікування при розрахунку фактичних географічних координат світлофора.

Під час проведення калібрувальних робіт програмне забезпечення ПАК ЛСТЗ реєструє кутові значення покажчика тангенти, GPS/ГЛОНАС

координати та технічні характеристики поточного світлофора з метою формування електронної картки (рисунок 2.3). Мета роботи з калібрування координат кожного світлофора полягає в тому, щоб досить точно визначити географічне розташування світлофора та прив'язати до координат структуру технічних характеристик світлофора.

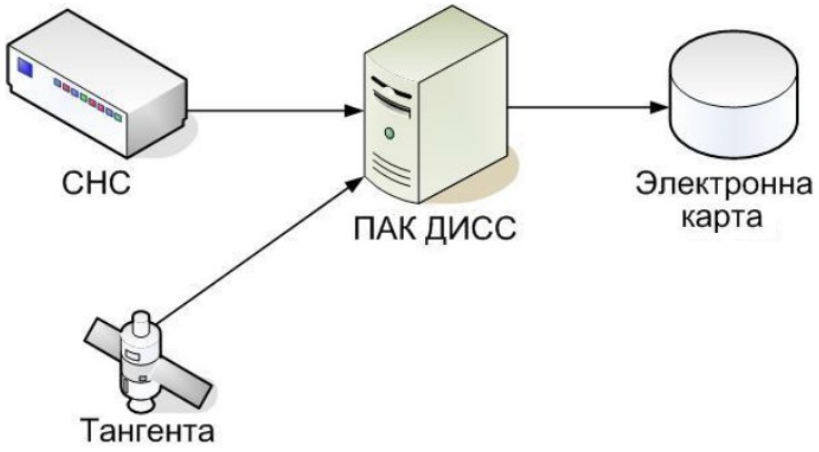


Рисунок 2.3 – Схема формування електронної карти координат

Визначення географічних координат об'єкта, зокрема світлофора, можливе за допомогою математичного аналізу відхилення лінії візування лінії вказівника тангенти. На рисунку 2.4 відбито визначення географічних координат світлофора.

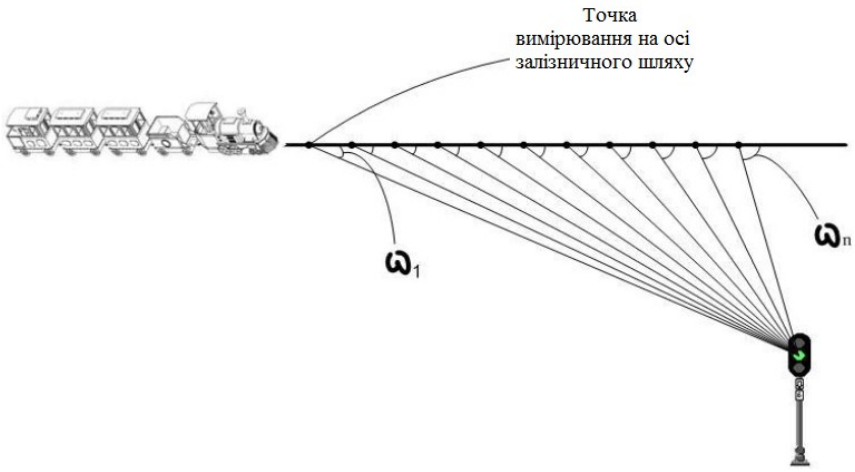


Рисунок 2.4 – Визначення географічних координат світлофора

Для обчислення географічних координат світлофора необхідно знати інформацію про кут між лінією візування та лінією покажчика тангенти, а також GPS/ГЛОНАСС координати точки знаходження локомотива під час виконання команди «Вимірювання». На рисунку 2.5 відображено геометричне положення світлофора під час виконання двох послідовних команд «Вимірювання», позначених N1 і N2 відповідно.

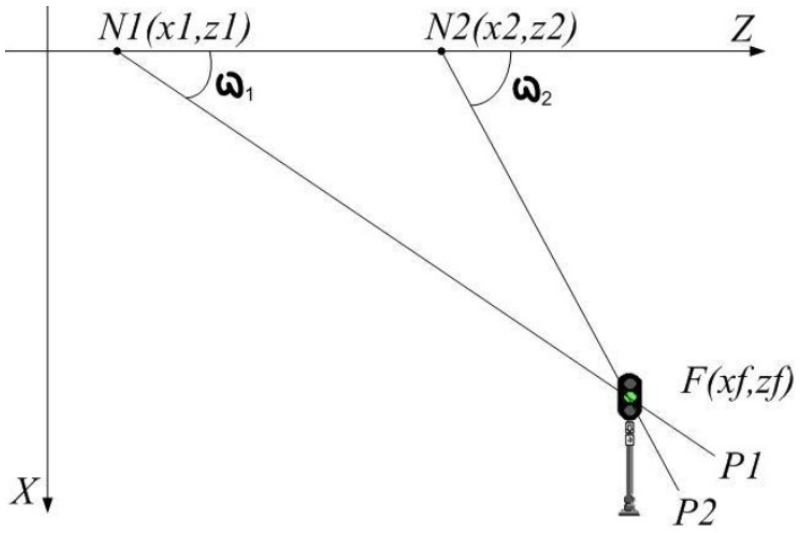


Рисунок 2.5 – Обчислення точки перетину ліній покажчика тангенти

Обчислення географічних координат положення світлофора щодо осей X, Z в єдиній системі координат обчислюється з геометричних виразів визначення точки перетину двох прямих ліній на площині.

Рівняння прямої P1

$$x = k_1 z + b_1, \tag{2.2}$$

де $k_1 = tg\omega_1$;

$b_1 = -k_1 z_1 + x_1$.

Рівняння прямої P2

$$x = k_2 z + b_2, \tag{2.3}$$

де k_2 – коефіцієнт нахилу прямої;

b – зміщення за віссю z.

Географічні координати світлофора в площині XZ обчислюються за формулами

$$z_f = \frac{b_1 - b_2}{k_2 - k_1}, \tag{2.4}$$

$$x_f = \frac{k_2 b_1 - k_1 b_2}{k_2 - k_1}. \tag{2.5}$$

Цілком природно, що в ручному режимі отримані калібрувальні координати матимуть помилку відхилення від фактичних координат. Для усунення цього відхилення необхідно провести кілька вимірів калібрувальних координат та обчислити математичне очікування. Нехай результат виміряних калібрувальних координат має нормальний розподіл рисунок 2.6, де N – шкала кількості вимірювань, M – шкала математичного очікування вимірюваної величини.

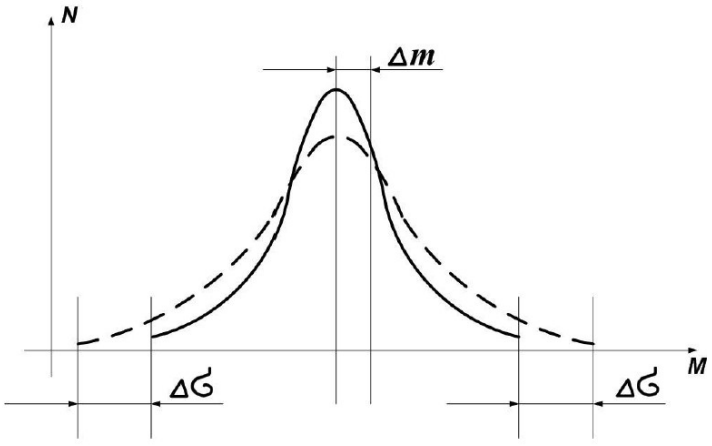


Рисунок 2.6 – Імовірнісний розподіл калібрувальних координат щодо кількості вимірювань

Тоді помилка дисперсії калібрувальних координат світлофора обчислюватиметься за формулою

$$\Delta\sigma = \pm \frac{\sigma^*}{\sqrt{2(n-1)}}, \tag{2.6}$$

де σ^* – дисперсія калібрувальних координат світлофора;

n – кількість вимірів.

Помилка математичного очікування обчислюватиметься за формулою

$$\Delta m = \frac{\sigma^*}{\sqrt{n}}, \tag{2.7}$$

З формул розрахунку $\Delta\sigma$ і Δm можна обчислити необхідну кількість вимірювань для задоволення припустимої статистичної помилки математичного очікування і, у разі їх виконання, математичне очікування калібрувальних координат світлофорів можна вважати фактичними значеннями координат світлофорів.

2.2 Алгоритм розпізнавання показань світлової сигналізації у відеопотоці

Алгоритм виявлення та розпізнавання світлової сигналізації є процесом спільної роботи кількох алгоритмів. Виділення світлових характеристик (СХ) образу світлофора є основним алгоритмом розпізнавання сигналу світлофора. Ефективність розв'язання цього завдання залежить від вибору колірного простору, СХ якого використовуватимуться в алгоритмі класифікації світлової сигналізації. Необхідно, щоб світловий простір задовольняв лінійним змінам світлових характеристик та спотворення значень цього простору не повинні суттєво залежати від апаратних характеристик відеокамери. СХ слід визначати за допомогою колориметричних методів для отримання об'єктивних кількісних оцінок характеристик кольору і колірних

відмінностей. При нормуванні області СХ світлофорів необхідно прийняти область СХ світлової сигналізації на Укрзалызниці. Координати кольоровості X та Y у системі колірних координат CIE XYZ, встановленої Міжнародною комісією з висвітлення у 1931 році, повинні лежати в межах областей, вказаних на графіку (рисунок 2.7). Це дозволить проводити стандартизовану та нормовану колірну класифікацію світлової сигналізації за допомогою технологій комп'ютерного зору.

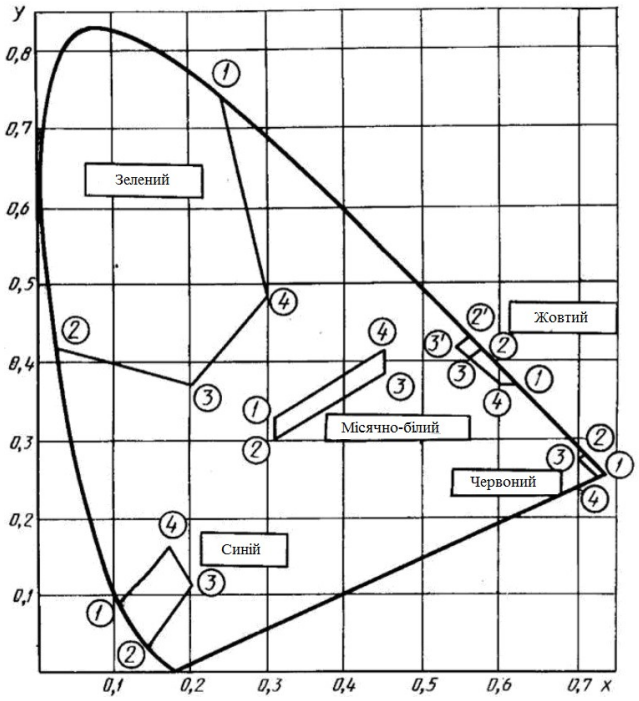


Рисунок 2.7 – Графік областей кольоровості, прийнятих для світлової сигналізації на залізницях УРСР

Координати кутових точок допустимих областей кольоровості кожного кольору повинні відповідати зазначеним значенням в таблиці 2.1.

Для ефективної оцінки червоного кольору необхідно використовувати при аналізі координат кольоровості розширено допустиму область кольоровості з довжиною хвилі від 625 до 630 нм, застосовувану для світлодіодних світлофорів [22].

Таблиця 2.1 – Координати кольоровості кутових точок областей кольоровості

Колір світлофільтра	Координати кольоровості кутових точок областей кольоровості							
	X_1	Y_1	X_2	Y_2	X_3	Y_3	X_4	Y_4
Червоний	0,735	0,265	0,710	0,290	0,704	0,290	0,725	0,267
Жовтий	0,617 0,610*	0,383 0,390*	0,561 0,561	0,439 0,439	0,545 0,545	0,427 0,427	0,604 0,600*	0,383 0,390*
Зелений	0,241	0,756	0,022	0,420	0,206	0,376	0,300	0,490
Синій	0,108	0,090	0,144	0,030	0,175	0,081	0,175	0,152
Місячно-білий	0,310	0,335	0,310	0,306	0,450	0,390	0,450	0,420

*Для світлофільтрів типу плоскі шліфовано-поліровані (термостійкі)

Через можливість невідповідності світлофорів стандартам областей кольоровості розпізнавання сигналів світлофора за значеннями, зазначеними в таблиці 2.1, може бути незадовільним. Для розпізнавання сигналу світлофора необхідно виконати визначення самої області інтересу. Для цього, в навчальному режимі, виконується виділення кольору цікавості області інтересу і визначається колір фону. На рисунку 2.8 відображено можливі області інтересу залізничного сигналу світлофора, де під кольором фону приймається випадок нічної відеозйомки залізничної інфраструктури.

Після формування областей інтересу кожного кольору сигналу світлофора розраховується гістограма, яка характеризує щільність розподілу випадкової величини сигналу кожному з 4-х кольорів світлофора в колірному просторі CIEXYZ. Для розпізнавання сигналу світлофора в даній роботі використовувалося вирішальне правило, яке визначалося з характеру графіка сигналу гістограми в колірному просторі CIEXYZ для кожного кольору світлофора.

На рисунку 2.9 відображено гістограму червоного сигналу світлофора у колірному просторі CIEXYZ, де на ділянці від 60 до 140 пікселів спостерігається характерна поведінка розподілу червоного кольору. Видно, що червона компонента (розкладання каналом X) стабільно більше зеленої (розкладання каналом Y) і синій (розкладання каналом Z), а зелена компонента більше синій, але менше червоної.

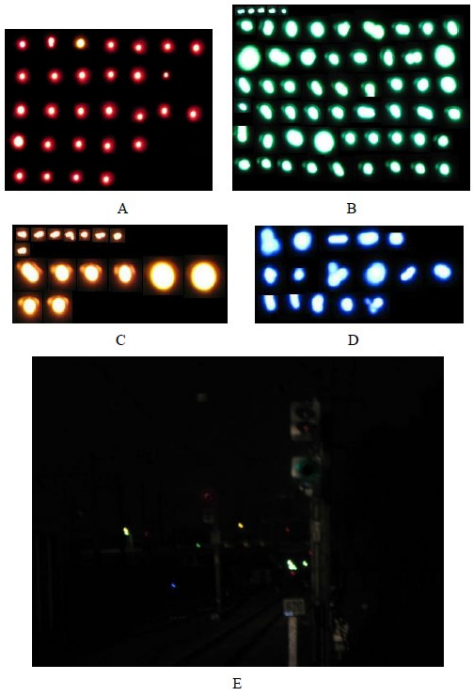


Рисунок 2.8 – Виділення області інтересу A – червоного кольору,
B – зеленого кольору, C – жовтого кольору,
D – синього кольору, E – колір тла

Аналогічні вирішальні правила складаються за гістограмами зеленого, жовтого та синього кольорів сигналу світлофора. На рисунку 2.9 відображено гістограму зеленого сигналу світлофора, де на ділянці від 70 до 140 пікселів спостерігається характерна поведінка розподілу зеленого кольору. На рисунку 2.10 відображено гістограму жовтого сигналу світлофора, де на ділянці від 60 до 120 пікселів спостерігається характерний розподіл жовтого кольору. На рисунку 2.11 відображено гістограму синього сигналу світлофора, де на ділянці від 30 до 80 пікселів спостерігається характерний розподіл синього кольору. Результати розпізнавання червоного, зеленого, жовтого та синього сигналів світлофора за обраними вирішальними правилами відображені на рисунках.

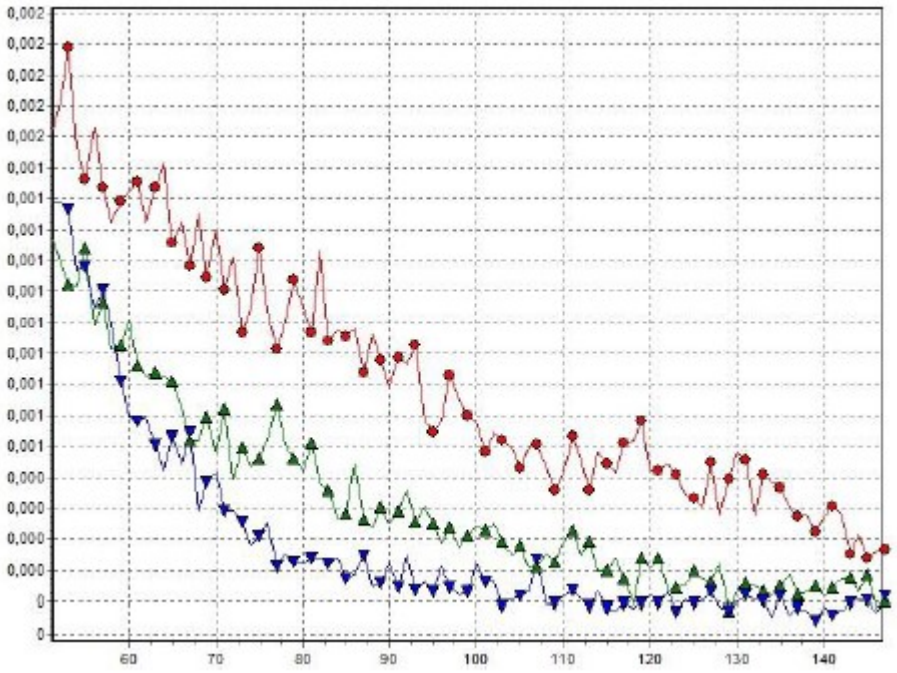


Рисунок 2.9 – Розподіл червоного сигналу на ділянці від 60 до 140 пікселів

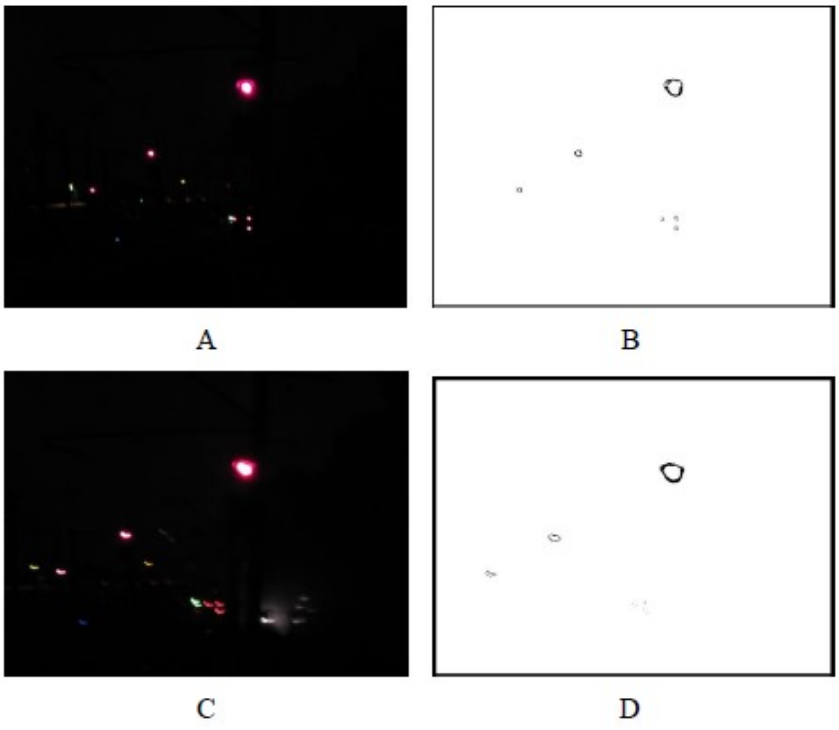


Рисунок 2.10 – Результати розпізнавання червоного сигналу світлофора

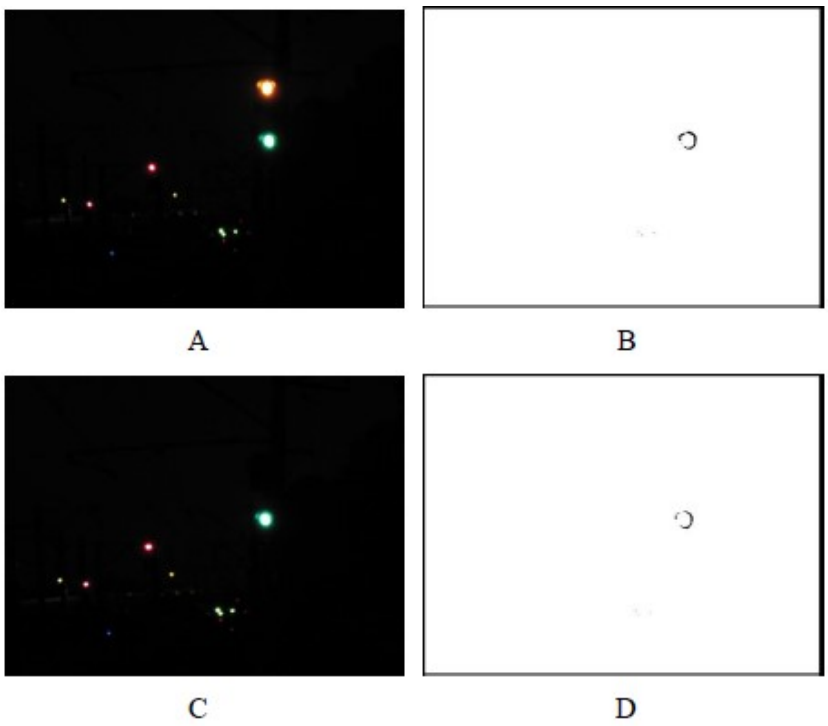


Рисунок 2.11 – Результати розпізнавання зеленого сигналу світлофора

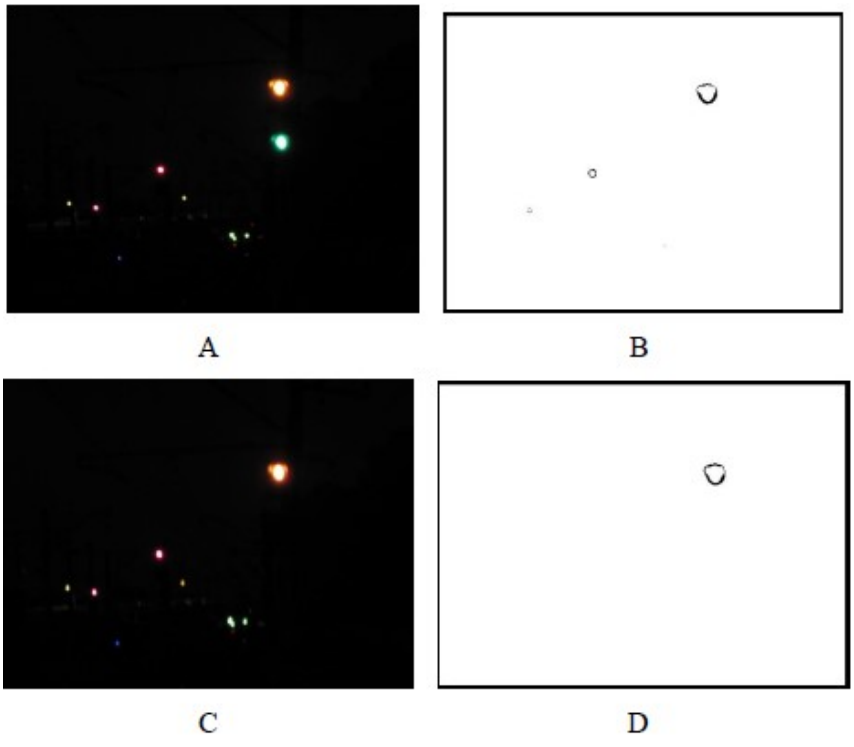


Рисунок 2.12 – Результати розпізнавання жовтого сигналу світлофора

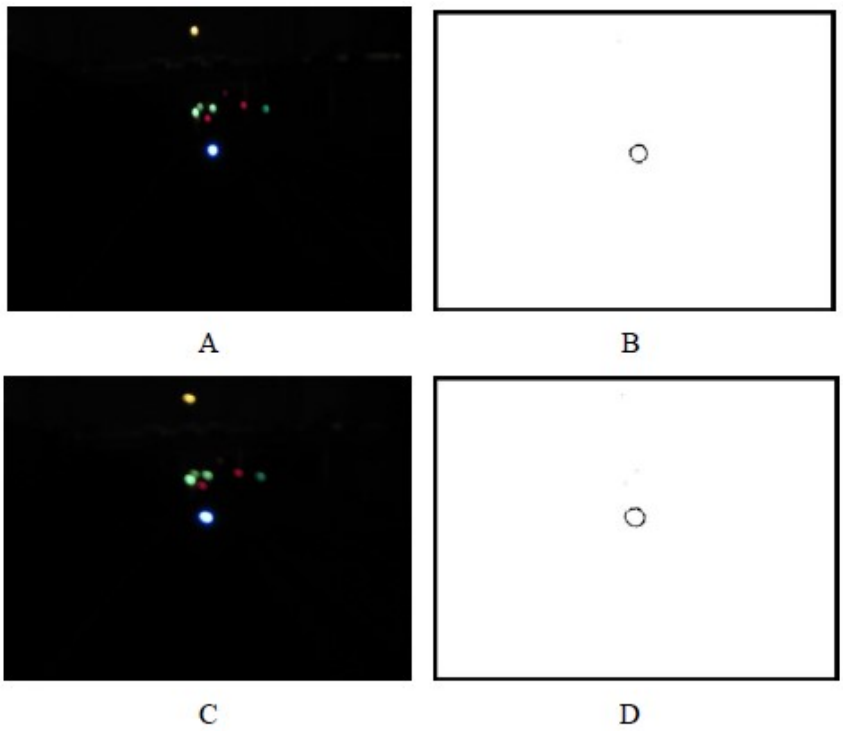


Рисунок 2.13 – Результати розпізнавання синього сигналу світлофора

Розпізнавання кольору сигналу світлофора на зображенні колірного простору CIEXYZ може не задовольняти впевнене розпізнавання сигналу (рисунки 2.10, 2.11, 2.12, 2.13). Це призводить до необхідності використання комбінованих методів при розпізнаванні сигналу, наприклад виділення характерних ознак основних сигналів світлофора в інших колірних просторах.

Додаткове визначення кольоровості червоної області інтересу на зображенні в колірному просторі RGB, для підтвердження результатів розпізнавання червоного кольору світлофора описаного вище, можливо, виконавши переведення зображення в колірний простір CIELab і оцінивши характеристики яскравості компоненти *a* і *b* за допомогою величин [23]:

- Середня яскравість;
- Середнє квадратичне відхилення σ;
- Медіана *Md*.

Таким чином, алгоритм оцінки показань світлофора складається з наступних етапів:

1) Визначення областей інтересу за кожним сигналом світлофора. З цією метою в навчальному режимі виділяється колір області, що цікавиться і визначається колір фону.

2) Формування вирішального правила з метою оцінки кожного сигналу світлофора. Для розпізнавання світлового сигналу світлофора, вирішальне правило визначалося з характеру поведінки графіка сигналу гістограми в колірному просторі CIEXYZ. Було прийнято вирішальне правило для виявлення, наприклад червоного сигналу світлофора, характером поведінки графіка гістограми трьох компонентів X, Y, Z на ділянці від 60 до 140 пікселів, де X>Y, а Y>Z.

3) Прийом зображення у колірному форматі. Вибір спеціалізованої апаратури для якісного прийому кольорового зображення є складним технічним завданням.

4) Виконання алгоритму нормування даних вирівнювання інтенсивності висвітлень. Ефективність роботи алгоритму розпізнавання сигналу світлофора в цілодобовому режимі пов'язана з постійними змінами освітленості фону, що вимагає класифікації кожного типу світлофорів за ключовими словами «день», «ранок», «вечір», «ніч».

5) Оцінка виконання умов вирішального правила кожного типу сигналу світлофора. Для ефективного розпізнавання сигналу світлофора необхідно застосовувати комбіновані алгоритми, що дозволяють використовувати інформацію про характерні ознаки кожного типу світлофора. Наприклад, параметричний розмір щита (відношення висоти до ширини), число сигнальних вогнів, тип світлофора (щогловий, карликовий і т.д.) елемент вектора переміщення світлофора щодо локомотива.

2.3 Принципи побудови автоматичної системи запобігання зіткненням

Розглянемо варіант комплектації пристрою для керування локомотивом, який містить бортову систему безпеки та обчислювальний модуль, розміщені в кабіні, та відеокамери, встановлені зовні кабіни. Пристрій забезпечений блоком сполучення, синхронізатором, телескопічною штангою з приводом висування та блоком обробки відеосигналів, до якого підключені виходи відеокамер, синхровходи яких з'єднані з виходом синхронізатора. Причому відеокамери з двох боків змонтовані на гіроскопічних платформах, закріплених на вільних кінцях секцій телескопічної штанги. Вихід блоку обробки відеосигналів підключений до обчислювального модуля з'єднаного з бортовою системою безпеки. Перший вихід обчислювального модуля з'єднаний через блок сполучення з входом керуючого приводу висування телескопічної штанги. Другий вихід обчислювального модуля з'єднаний із входом запуску синхронізатора. Ефективність пристрою для керування локомотивом полягає у підвищенні безпеки руху за рахунок збільшення видового огляду для машиніста за допомогою чотирьох відеокамер, винесених з боків локомотива та направлених у передню та задню півсфери. Загальний вигляд телескопічної штанги з відеокамерами пристрою для керування локомотивом відображено на рисунку 2.14.

Пристрій для керування маневровим локомотивом працює в такий спосіб. Перед початком руху локомотива проводиться апаратне вмикання автоматичної системи запобігання зіткненням (АСЗЗ). Виконується команда ініціалізації всіх апаратних та програмних модулів АСЗЗ, а також проводиться запуск платформ, що гіростабілізуються. Виставка у робоче положення правої та лівої секції штанги здійснюється за допомогою автоматичних приводів. Дозволені габаритні розміри робочого положення правої та лівої секції L2, L3 розраховуються блоком керування штангою та

коригуються автоматично під час руху локомотива приводами у режимі реального часу. Максимальне висування секцій, щодо габаритів рухомого складу, що пересувається, не перевищують 10 – 15 сантиметрів і не перевищує дозволених габаритів для руху.

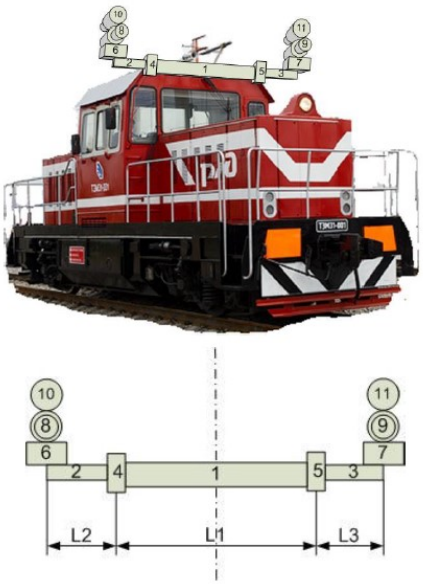
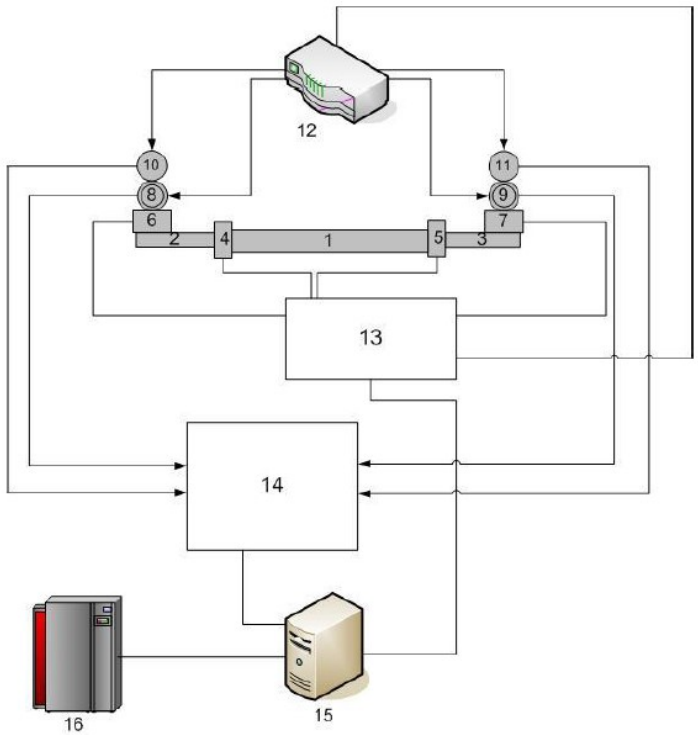


Рисунок 2.14 – Загальний вигляд пристрою для керування маневровим локомотивом

Під час включення АСЗЗ з блоку сполучення видається команда синхронізатор з метою включення генерації синхроімпульсів. Одночасно з усіх входів відеокамер що надходить до синхроімпульсу, від синхронізатора надходять відеозображення в спеціальне програмне забезпечення (СПЗ) АСЗЗ. У разі виявлення небезпечної ситуації для проїзду локомотива АСЗЗ передає до бортової системи безпеки відеозображення, яке виводиться на дисплей та команду на гальмування локомотива. При необхідності машиніст має можливість через блок сполучення видавати команди на АСЗЗ для виведення відео на дисплей з будь-якої відеокамери, підключеної до пристрою СТЗ. Відеокамери, розташовані зовні по обидва боки кабіни локомотива і спрямовані в передню та задню півсфери руху локомотива, дозволяють забезпечити максимальний огляд машиністу для керування

локомотивом, а також зменшити «мертві зони видимості». Використання рознесених та синхронізованих відеокамер по ширині локомотива дає можливість використовувати математичні алгоритми обробки стереозріння для визначення безпечної відстані від локомотива до зчеплення вагона. З КЛУБ-У в режимі реального часу передається в АСЗЗ електронна геоінформаційна карта інфраструктури шляхів проходження локомотива для проведення програмним модулем СПЗ АСЗЗ алгоритму верифікації координат об'єктів, що детектуються. Схема підключення апаратури пристрою для керування локомотивом відображена на рисунку 2.15.

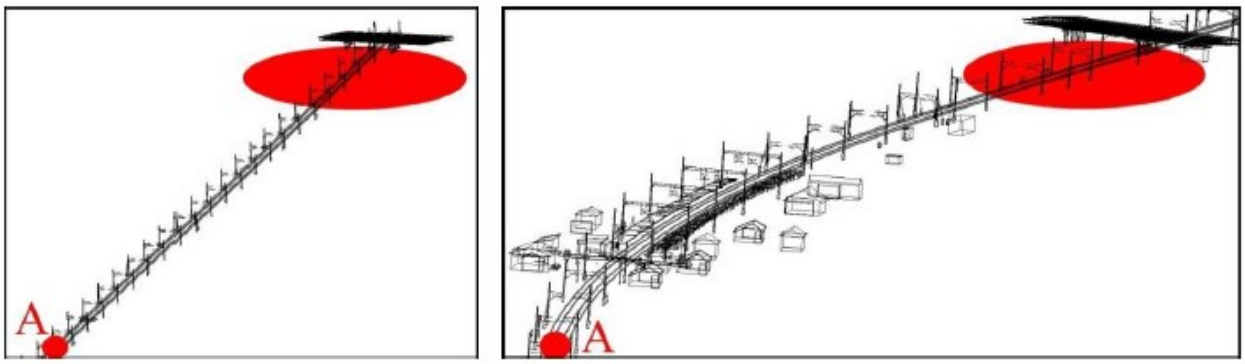


1 – телескопічна штанга; 2 – права секція штанги; 3 – ліва секція штанги; 4, 5 – електроприводи; 6, 7 – гиростабилизируемые платформи; 8, 9, 10, 11 – високошвидкісні; 13 – блок сполучення; 14 – блок обробки відеосигналів; 15 – бортовий обчислювальний модуль; 16 – бортова система безпеки

Рисунок 2.15 – Схема підключення апаратури АСЗЗ

Очевидно, що для використання СТЗ локомотив повинен знаходитися на ділянці дороги, що переглядається. При цьому дальність видимості має

бути достатньою для вирішення поставленого завдання. У разі відсутності достатньої видимості через загородження шляху сторонніми об'єктами, поворотів та ін. локомотивна СТЗ буде непрацездатною (рисунок 2.16). Для подібних ситуацій доцільно використовувати стаціонарну монохромну відеосистему з інфрачервоним підсвічуванням для телевізійного контролю області інтересу в нічний час, яка обробляє та передає поточну відеоінформацію на локомотив.



a – Можливий контроль області інтересу; b – Недостатня зона видимості області інтересу відповідно

Рисунок 2.16 – Умови видового огляду

Для швидкісних поїздів при виконанні завдання моніторингу області інтересу, розташованої перед мостами та тунельними входами, необхідно проводити виявлення небезпечних об'єктів на відстані більше двох кілометрів через велику гальмівну колію поїзда. Для цього необхідно використовувати оптичне збільшення зображення. Велика відстань вимагає підвищеної точності як платформи, що гіростабілізується, так і супутникової навігаційної системи. Виникаючі помилки при юстирувальній виставці оптичної лінії візування СТЗ на області інтересу істотно впливають на значення координати точки сходу W. Обчислюючи координати точки сходу W за допомогою побудови на зображенні площини ректифікації і визначаючи кут медіани трикутника $P2WP1$, визначаються геометричні характеристики

прямої лінії осі залізничної колії на відео. Побудова площини ректифікації здійснюється щодо геометричних характеристик двох дотичних ліній до залізничних колій та уточненої координати точки сходу *W*. Обчислення поправочних коефіцієнтів точки сходу *W* за допомогою площини ректифікації дозволяє визначити ступінь небезпеки виявлених об'єктів, що знаходяться в області інтересу щодо осі шляху швидкісного поїзда.

Припустимо, що на шляху прямування локомотива, що рухається зі швидкістю *V*, є перешкода. Якщо перешкода є небезпечною, то з метою запобігання аварійній ситуації необхідно, щоб локомотив зупинився на певній безпечній відстані ($L_б$) від цієї перешкоди. При цьому ухвалення рішень реалізується на основі факту про наявність деякої (не розпізнаної) перешкоди або на інформації про розпізнаний клас перешкоди.

Вважатимемо, що локомотив оснащений автоматичною системою запобігання зіткнень, що базується на СТЗ. СТЗ виявляє (або виявляє та розпізнає) перешкоду та передає відповідну інформацію в систему автоматичного управління (САУ), де приймається рішення про подальші дії та, у разі потреби, включається режим гальмування (рисунок 2.17).

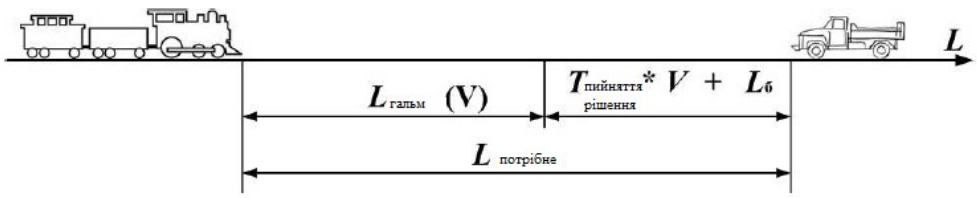


Рисунок 2.17 – Умови застосування АСЗЗ

Якщо гальмівний шлях локомотива $L_T(V)$ відомий, то відстань, на якій потрібно виявити перешкоду буде

$$L_{тр} \geq L_T(V) + T_{пр}V + L_б, \tag{2.8}$$

де $T_{пр}$ – час прийняття рішення у САУ і реалізацію управляючих дій.

Зауважимо, що якщо СТЗ не забезпечують виявлення перешкод на достатній відстані $L_ф \geq L_{тр}$ (при цьому $L_ф$ – фактична відстань), то безпечний результат цієї ситуації фізично нереалізований.

Процес виявлення (у більш загальному випадку - розпізнавання), в рамках розв'язуваних завдань моніторингу областей інтересу на шляхах прямування локомотива полягає в прийнятті рішення про виявлення (не виявлення) об'єктів, що шукаються на кожному такті обробки отримуваних зображень (кадрів відеопослідовності).

Позначимо класи об'єктів, як $X=(x_1,x_2,...,x_m,..,x_M)$ (при виявленні розглядаються 2 класи: об'єкт - тло). Вектори $Y=(y_1,y_2,...,y_n,...,y_N)$ у просторі ознак звуться векторами-реалізацій. Ознаки є основою повідомлень, які мають корисну інформацію. Вони можуть бути простими (непохідними) чи складними. Зокрема, до складних ознак належать: контур зображення, значення критеріальних функцій, що використовуються в кореляційно-екстремальних системах та ін., також до цієї групи ознак належать структурні (лінгвістичні, синтаксичні) ознаки [24]. Залежно від завдань умов спостереження ознаки можуть містити різні обсяги корисної інформації. Так, інформативність ознак суттєво залежить від невизначеності та мінливості умов спостереження: освітленості об'єктів, ракурсу спостереження, наявності дестабілізуючих факторів, загородження та затінення об'єктів пошуку тощо [25].

2.4 Алгоритм ідентифікації сторонніх об'єктів у габариті залізничної колії

Розробка СТЗ, що забезпечує виявлення чи розпізнавання перешкод, має містити низку етапів:

1) Вибір відповідного принципу класифікації об'єктів. У цьому необхідно сформувати апріорний алфавіт класів об'єктів, визначальний робочий алфавіт;

2) Формування словника ознак (ознакового простору), необхідного для опису відповідних класів об'єктів мовою цих ознак;

3) Визначення параметрів апаратної частини СТЗ, що забезпечує виділення відповідних ознак;

4) Розробка алгоритмів виявлення, що визначають факт наявності перешкод;

5) Розробка алгоритмів розпізнавання, що дозволяють віднести об'єкт, що розпізнається, до відповідного класу.

Створення повністю автоматичної СТЗ локомотива є складною науково-технічною проблемою та потребує проведення великого обсягу досліджень. Розглянемо деякі аспекти реалізації цієї методики. Як приклад визначимо такі класи (X) перешкод по дорозі локомотива (етап 1):

- Автомобілі;
- Люди;
- Пошкодження шляху;
- Завал шляху;
- Малогабаритні (з лінійними розмірами до 10 см), середньогабаритні (з лінійними розмірами від 10 до 70 см) та великогабаритні (з лінійними розмірами понад 70 см) об'єкти невідомого класу.

Формування оптимального словника ознак (етап 2) потребує проведення додаткових досліджень. Приймемо, що для розпізнавання даних об'єктів класів словник може включати такі ознаки (Y):

- Безперервність контурних ліній рейок;
- Колір (C) та яскравість (I);
- Форма (F);
- Розміри (S).

Безперервність контурних ліній є важливою ознакою, що визначає відсутність перешкод. Колір і яскравість дозволяють виділяти фрагменти, не характерні для типової сцени, і є основою виявлення сторонніх об'єктів. Словник ознак повинен містити значення кольорів $C_ф$ та розподілу яскравостей $I_ф$, характерних для типових сцен. Використання ознаки форми дозволяє виділяти та класифікувати об'єкти характерної форми: автомобілі, людей. Об'єкти з невизначеною формою можуть бути класифіковані за розмірами.

Визначення апаратної частини СТЗ (етап 3) для ефективного визначення ознак об'єктів інтересу багато в чому залежить від умов експлуатації системи. Використання світлофільтрів у ряді випадків є окремою та дорогою операцією. Типи та різновиди оптичних систем дуже різноманітні і для виконання необхідних вимог до якості зображення потрібне проведення окремих досліджень.

Алгоритм виявлення перешкод (етап 4) повинен включати процедури оцінки ознак безперервності ліній, а також поточних значень кольору C_T та яскравості I_T, порівнюваних з $C_ф$ і $I_ф$ відповідно.

Алгоритм розпізнавання (етап 5) ґрунтується на порівнянні поточних значень ознак F_T і S_T з заздалегідь запам'ятованими еталонними значеннями.

Присутність людей та тварин на залізничних коліях, збільшення інтенсивності та швидкості руху поїздів, високий рівень перешкод для технічних засобів фізичного захисту у разі виникнення надзвичайної ситуації потребують обмеженого часу під час ухвалення рішення в процесі руху локомотива. Отже, щоб зменшити помилку людини-оператора під час управління локомотивом необхідно використовувати у системах автоведення технології комп'ютерного зору, що дозволить автоматизувати низку завдань із забезпечення безпеки руху поїзда. Завдання, пов'язані з відеомоніторингом шляхів локомотива, ефективно вирішуються за допомогою комплексного підходу використання датчиків різної фізичної природи (ДРФП). Можливість комплексування багатоспектральних відеоданих від ДРФП дозволяє

збільшити коефіцієнт впевненості при автоматичному розпізнаванні об'єктів інтересу на залізниці.

Моніторинг шляхів проходження локомотива можна розділити на два типи: «локальний» та «наскрізний». Під «локальним» моніторингом розуміється видовий аналіз певної області інтересу по дорозі локомотива. Подібними областями можуть вважатися залізничні переїзди, стрілочні переводи, напільні пристрої. Під «наскрізним» моніторингом шляхів прямування локомотива розуміється постійний видовий аналіз області шляху попереду руху локомотива з виявлення небезпечних об'єктів руху локомотива. Такими об'єктами може бути автомобіль, великі тварини, завал колій тощо.

Пропонуємий комплексний алгоритм виявлення підозрілих об'єктів можна використовувати для обох завдань моніторингу шляху, але використання його з попередньою обробкою відеозображення методом Кани або Собеля, з метою виділення контуру рейок, можливе лише у вирішенні задачі визначення безперервності рейки. Зокрема, завдання відеоконтролю безперервності рейок може використовуватися у забезпеченні контролю положення підлогових стрілочних переводів на шляху прямування локомотива.

Для роботи комплексного алгоритму виявлення підозрілих об'єктів, заснованого на визначенні безперервності рейок, необхідне складання аналітичної карти шляху прямування локомотива. Аналітична карта будується на основі електронної геоінформаційної карти GPS/ГЛОНАСС координат об'єктів та уточнюється за допомогою даних від ДРФП [26]. Аналітична карта за допомогою юстирування бортової системи технічного зору поєднується з зображенням телевізійним високошвидкісної відеокамери за допомогою матриць перекладу координат.

Для контролю безперервності рейок виконується попередня обробка телевізійного зображення шляхом виділення контурів. Для порівняльної

оцінки надійності алгоритму визначення безперервності рейок аналізується попередня обробка методом Кани та методом Собеля.

У разі виявлення комплексним алгоритмом на телевізійному зображенні розриву рейкового ланцюга приймається рішення про наявність стороннього об'єкта і навпаки, у разі визначення безперервності рейкового ланцюга приймається рішення, що небезпеки руху локомотива немає.

Робота комплексного алгоритму здійснюється за допомогою критеріального аналізу елементів вибірки яскравості пікселів на попередньо обробленому телевізійному зображенні [26]. Пропонована вибірка розміром 2x11 здійснює сканування попередньо обробленого зображення щодо аналітичної карти. На кожному кроці сканування центр вибірки зміщується щодо характеристичних ліній P1 та P2 на аналітичній карті (рисунок 2.18). На кожному кроці сканування визначається коефіцієнт правдоподібності для виявлення наявності рейки. У разі виявлення розриву здійснюється наступна ітерація роботи алгоритму з урахуванням послідовного аналізу зображення методом Вальда [27]. Блок-схема функціональної послідовності роботи алгоритму виявлення рейки та фрагмент програмного коду аналізу вибірки відображені на рисунку 2.19 та рисунку 2.20 відповідно.

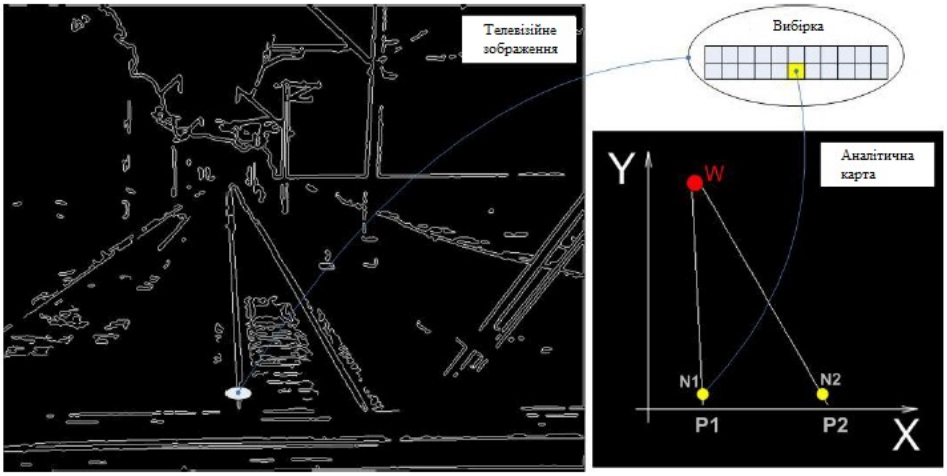


Рисунок 2.18 – Схема комплексного алгоритму

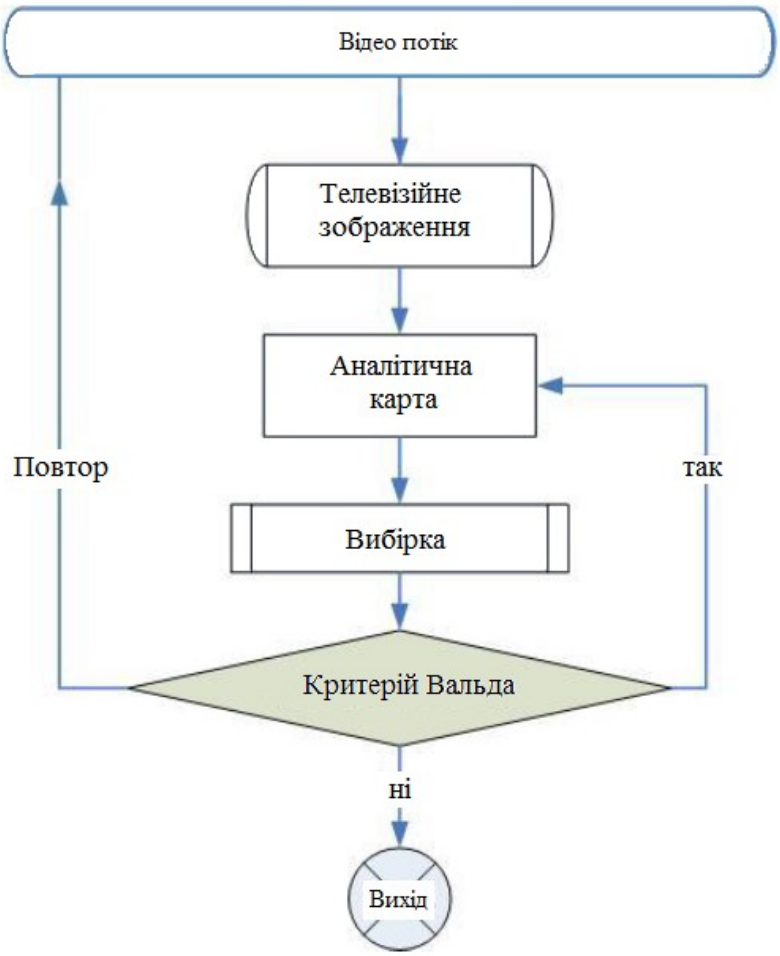


Рисунок 2.19 – Блок-схема комплексного алгоритму

```
while(y<W){
    x=(y-b)/k;
    int cnt=0;
    for (int j=0;j<2;j++){
        for (int i=-5;i<6;i++){
            int d=(y+j)*Image->widthStep+(x+i);
            if (Image->imageData[d]){
                ++cnt;
            }
        }
    }
    if (cnt>9 || cnt==0){
        GapPoint.y=y;
        GapPoint.x=x;
        return GapPoint;
    }
    y=y+1;
}
```

Рисунок 2.20 – Фрагмент програмного коду аналізу вибірки

3 Математичне моделювання процесів виявлення об'єктів на рейковій колії

3.1 Оцінювання просторових координат цільових об'єктів

Об'єктами інтересу ЛСТЗ є світлофори та сторонні об'єкти на шляху проходження локомотива.

Автоматична оцінка сигналів світлофора на основі обробки та аналізу поточної відеоінформації полягає в пошуку світлофора на зображеннях, одержуваних ЛСТЗ, і розпізнавання сигналу світлофора.

Реалізація процедури утруднена наявністю низки факторів, що дестабілізують. Зокрема, до основних факторів слід зарахувати:

1) Можлива присутність на сценах хибних об'єктів (об'єктів навколишньої інфраструктури), що спостерігаються, які можуть сприйматися як світлофори;

2) Невизначеність положення світлофора на сцені, що спостерігається, через випадкові відхилення положення приймальної відеокамери ЛСТЗ від розрахункового положення в поточний момент часу;

3) Випадкові відхилення значень сигналу світлофора колірних складових, що ускладнює розпізнавання кольору сигналу.

Одним з можливих підходів, що зменшують вплив факторів 1 і 2, є підхід, заснований на використанні гіростабілізуючої установки відеокамери і попередньої оцінки положення світлофора на сцені, що спостерігається. У цьому передбачається, що координати локомотива, отже, ЛСТЗ визначаються з допомогою СНС. Подібна оцінка дозволить зменшити область пошуку світлофора на зображеннях та відповідно скоротити кількість помилкових об'єктів.

Для оцінки положення світлофора на зображеннях пропонується комплексувати поточну відеоінформацію та апріорну інформацію від

геоінформаційної системи (ГІС), що подається у вигляді ЦКМ з відомими координатами світлофорів.

Цей підхід також використовується під час пошуку сторонніх об'єктів по дорозі локомотива. Прив'язка координат об'єктів, виявлених на відеозображеннях, що приймаються ЛСТЗ, до ЦКМ дозволяє визначати відстані від локомотива до знайдених об'єктів.

З метою підвищення безпеки руху локомотива пропонується застосовувати спільне використання технологій комп'ютерного зору (ТКЗ) із технологіями геоінформаційного забезпечення об'єктів [12]. Комплексування виділеної інформації відеозображення (ВІ) з допомогою технологій комп'ютерного зору з інформацією цифрової картки місцевості (ЦКМ), на якій відображені GPS/ГЛОНАСС координати об'єктів шляхової інфраструктури є складним математичним завданням, пов'язаним з використанням методів еластичних експоненційних деформацій зображення.

Основною причиною використання платформи, що гіростабілізується, є вплив на відеокамеру безлічі трудноформализируемых чинників, зокрема, вплив вібрації на якість зображення під час руху локомотива, наявність кутового відхилення системи координат відеокамери, що збігається з локомотивною системою координат, від земної системи координат. Використання технології цифрової стабілізації зображення, що застосовується в цифрових відеокамерах, не може повною мірою вирішити задачу стабілізації зображення для системи технічного зору, що працює в режимі реального часу через обмежену обчислювальну потужність процесора відеоапаратури.

Зображення дорожньої інфраструктури, отримане за допомогою відеокамери та цифрової карти місцевості, відрізняються один від одного системами координат зображень. ВІ та ЦКМ можуть бути приведені до земної системи координат (ЗСК) за допомогою геометричних перетворень. Під ЗСК прийматимемо систему координат з базовими векторами, де вектор Z направлений по руху локомотива, а вертикальна вісь Y збігається з

гіровертикаллю, яка визначається за допомогою гіростабілізуючого пристрою.

$$q = \frac{1}{Z}\begin{pmatrix} \lambda & 0 & 0 \\ 0 & \lambda & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} MR(Q+T). \tag{3.1}$$

Координати проекції точки $P - q_1 = u, v$.

$$q_i = \begin{pmatrix} u_i \\ v_i \\ 1 \end{pmatrix}. \tag{3.2}$$

Матриця проекції

$$M = \begin{pmatrix} f_u & 0 & c_u \\ 0 & f_v & c_v \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \tag{3.3}$$

де c_u, c_v – положення оптичного центру;

$f_u = s_u f$, $f_v = s_v f$ – проекції форми пікселя;

s_u, s_v – коефіцієнти форми пікселя.

Осередки приладу із зарядовим зв'язком (ПЗЗ-матриця) мають різну чутливість. При абсолютно рівномірному освітленості сцени сигнал з усіх осередків виходить різний (іноді цей ефект називають геометричним шумом). Величина відмінності одержуваних сигналів невелика і зазвичай не перевищує 1-5% (залежно від типу приладу), так що у звичайних відеокамерах нею можна знехтувати. У системах, де потрібна підвищена фотометрична точність, застосовують досить непростий алгоритм корекції нерівномірності. Оскільки чутливість кожного осередку – це фіксована величина, то її корекції при певної рівномірної освітленості сцени запам'ятовують сигнали з усіх елементів ПЗЗ – матриці і використовують їх

як коефіцієнти корекції за всіх наступних експозиціях. Приймаємо за корекцію приладу із зарядовим зв'язком вираз

$$\begin{cases} u_{corrected} = u\left(1 + k_1 r^2 + k_2 r^4\right), \\ v_{corrected} = v\left(1 + k_1 r^2 + k_2 r^4\right), \end{cases} \quad (3.4)$$

де k_1, k_2 – коефіцієнти радіального спотворення,

r – відстань від точки перетину головної оптичної осі ПЗЗ-матриці до точки проекції.

Умовно введена функція

$$\lambda = 1 + k_1 r^2 + k_2 r^4. \quad (3.5)$$

Результуюча матриця обертання

$$R(\alpha, \beta, \gamma) = R_x(\alpha) R_y(\beta) R_z(\gamma). \quad (3.6)$$

Обертання ЄСК навколо осі *X*, *Y* і *Z* відповідно

$$R_x = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\gamma & \sin\gamma \\ 0 & -\sin\gamma & \cos\gamma \end{pmatrix}, \quad R_y = \begin{pmatrix} \cos\beta & 0 & -\sin\beta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin\beta & 0 & \cos\beta \end{pmatrix}, \quad R_z = \begin{pmatrix} \cos\alpha & \sin\alpha & 0 \\ -\sin\alpha & \cos\alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}. \quad (3.7)$$

Координати точки *P* на ЦКМ – Q_i=*x*,*y*,*z*.

$$Q_i = \begin{pmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{pmatrix}. \quad (3.8)$$

Вектор зсуву камери щодо необхідної системи координат

$$T = \begin{pmatrix} t_x \\ t_y \\ t_z \end{pmatrix}. \qquad (3.9)$$

Переведення матричного рівняння перспективної проекції до однорідних систем координат

$$\begin{pmatrix} u_i \\ v_i \\ 1 \end{pmatrix} = \frac{1}{Z} \begin{pmatrix} \lambda & 0 & 0 \\ 0 & \lambda & 0 \\ 0 & 0 & \lambda \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} f_u & 0 & 0 \\ 0 & f_u & 0 \\ 0 & 0 & f_u \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} r_{00} & r_{01} & r_{02} & t_x \\ r_{10} & r_{11} & r_{12} & t_y \\ r_{20} & r_{21} & r_{22} & t_z \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \\ 1 \end{pmatrix}. \qquad (3.10)$$

Переведення координат точки Р з земної системи координат (ЗСК, де *P*є(X,Y,Z)), в єдину систему координат (ЕСК, де *P*є(U,V)) відображає виконання процедури юстування локомотивної системи технічного зору.

Для обчислення відмінності рівня горизонту в єдиній системі координат від рівня горизонту у земній системі координат під час руху поїзда на підйомах та спусках при комплексуванні ВІ та ЦКМ виконується обчислення координат площини ректифікації. На рисунку 3.1 відображено геометричне положення дотичних ліній *P1* та *P2* щодо залізничних рейок відповідно. Дотичні лінії визначають координати площини ректифікації, а точка сходу *W*, що є точкою перетину ліній *P1* і *P2*, знаходиться на рівні горизонту. У єдиній системі координат координати точки сходу *W* є незмінними.

Координати точок в єдиній системі координат Р1(x1,y1), Р1(x2,y2), що лежать на дотичній до першої рейки *P1*, та координати точок Р2(x1,y1), Р2(x2,y2), що лежать на дотичній до другої рейці *P2*, обчислюються під час проведення юстування системи технічного зору на предмет визначення кутів нахилу відеоапаратури щодо платформи, що гіростабілізується.

Поетапний розрахунок геометричних координат осі колії на телевізійному зображенні:

- Обчислюються геометричні координати прямих ліній *P1, P2*;

- Обчислюється координата точки сходу *W* (перетину ліній);
- Обчислюються геометричні координати осі шляху ЄСК.

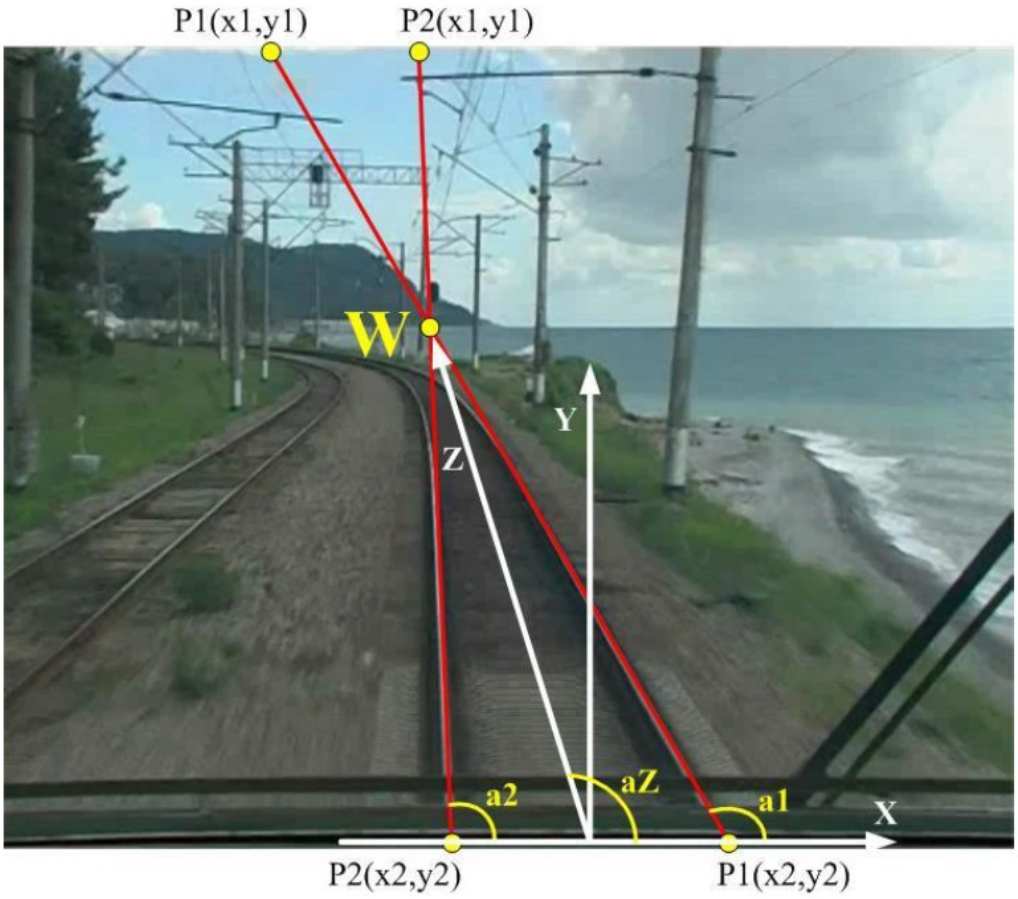


Рисунок 3.1 – Геометричне положення дотичних ліній *P1* та *P2*

Точка перетину прямих *P1* і *P2*, яка є точкою сходу W, обчислюється шляхом розв'язання системи рівнянь цих прямих

$$\begin{cases} y = k_1 x + b_1 \\ y = k_2 x + b_2 \end{cases}, \quad x = \frac{b_1 - b_2}{k_2 - k_1}, \quad y = \frac{(k_1 b_1 - k_2 b_2)}{k_2 - k_1}, \tag{3.11}$$

де $k_1 = tga_1$, b_1 – обчислюються з рівняння прямої, з використанням точок юстування P1(x1,y1), P1(x2,y2);

$k_2 = tga_2$, b_2 – обчислюються з рівняння прямої, з використанням точок юстування P2(x1, y1), P2(x2, y2).

Кут медіани трикутника P2WP1 є кутом лінії, яка збігається з віссю залізничної колії, і визначається за допомогою рівняння

$$kZ = tgaZ = k_1 - \frac{k_1 - k_2}{2(1 + k_1 k_2)}, \tag{3.12}$$

де kZ – кут медіани трикутника P2WP1.

Обчислюючи координату точки сходу W і кут медіани трикутника P2WP1 визначаються геометричні характеристики прямої лінії, що збігається з лінією осі залізничної колії на телевізійному зображенні.

Під час проведення юстування системи технічного зору вимірюються геометричні дані положення відеокамери щодо осі колії (рисунок 3.2).

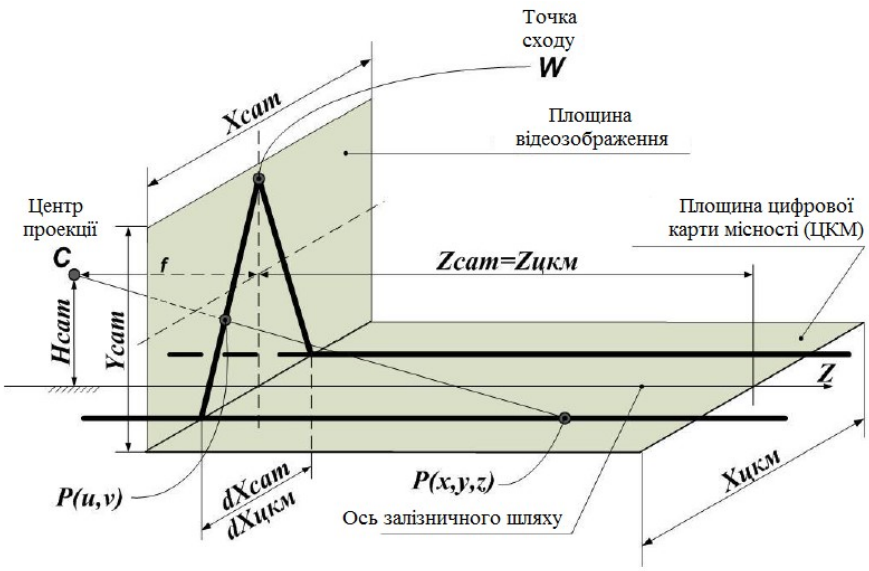


Рисунок 3.2 – Юстування локомотивної системи технічного зору

Попереднє обчислення кутів відхилення лінії візування СТЗ щодо осі шляху Z та висоту кріплення відеокамери H_{cam} дозволяє в автоматичному режимі проводити комплексування ВІ з даними від ЦКМ та СНР під час руху локомотива

$$\begin{pmatrix} u_i \\ v_i \\ 1 \end{pmatrix} = \frac{1}{Zcca} \begin{pmatrix} \lambda & 0 & 0 \\ 0 & \lambda & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} f_u & 0 & c_u \\ 0 & f_v & c_v \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} r_{00} & r_{01} & r_{02} & W_x \\ r_{10} & r_{11} & r_{12} & W_y \\ r_{20} & r_{21} & r_{22} & W_z \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \\ 1 \end{pmatrix}, \qquad (3.13)$$

де W_x, W_y – відхилення точки сходу W щодо центру телевізійного зображення;

W_z – вертикальне відхилення точки сходу W щодо земної системи координат.

Платформа, що гіростабілізується, при виконанні математичних розрахунків координат точки сходу W дозволяє прийняти рівень горизонту в ЕСК як ідеальний, а вертикальні координати точки сходу постійними. Через наявність підйомів та спусків вертикальний кут між ЕСК та ЗСК відрізнятиметься [22]. Для визначення цієї відмінності необхідне визначення рівня реального горизонту ЗСК. Рівень реального горизонту можна визначити за допомогою знаходження координат точки сходу W на площині ректифікації ЗСК [14].

Рівень ідеального горизонту відрізнятиметься від рівня реального горизонту ΔW (рисунок 3.3).

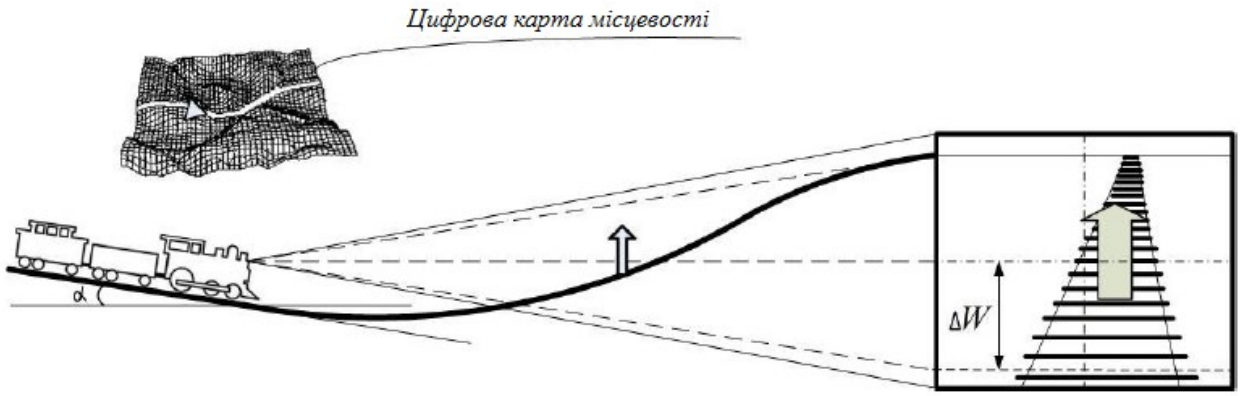


Рисунок 3.3 – Помилка рівня горизонту на підйомах та спусках

Для визначення величини ΔW необхідне визначення рівня горизонту ЗСК. Рівень горизонту ЗСК можна визначити за допомогою геометричних розрахунків земних координат на ЦКМ і обчислення координат площини ректифікації для уточнення координат точки сходу W в земній системі координат, як представлено на рисунку 3.3.

$$\Delta W = W_y - W_{ry}, \tag{3.14}$$

де W_y – вертикальна координата точки сходу до ЄСК;

W_{ry} – вертикальна координата точки сходів ЗСК на площині.

3.2 Формування площини ректифікації методами цифрової обробки зображень

Для обчислення відмінності ідеального рівня горизонту від реального під час руху поїзда на підйомах та спусках при комплексуванні телевізійного зображення та цифрової карти місцевості необхідно виконувати обчислення координат площини ректифікації [19].

Алгоритм модуля відеоспостереження ПАК ЛСТЗ під час руху локомотива здійснює аналіз видової інформації за допомогою технологій комп'ютерного зору. Результатом проведеного відеоаналізу, за допомогою алгоритму відеомодуля ПАК ЛСТЗ, є створення просторової бази даних ГІС з внесеною в неї інформацією про об'єкти інтересу, що детектуються [16,17], де просторова інформація про детектовані об'єкти інтересу пов'язана з географічними координатами 3D карти шляхової інфраструктури. Для виконання алгоритму верифікації на 3D карті формується площина ректифікації [24] і визначається вектор напряму характеристичних ліній. Площина ректифікації визначається двома характеристичними лініями, які стосуються рейок на певному відрізку залізничної колії, що дозволяє

визначити глибину сцени на аналізованому 2D зображенні з відеокамери та виконати аналіз перспективного проектування об'єктів 3D карти на площину ректифікації [24]. Блок-схему побудови площини ректифікації відображено на рисунку 3.4.

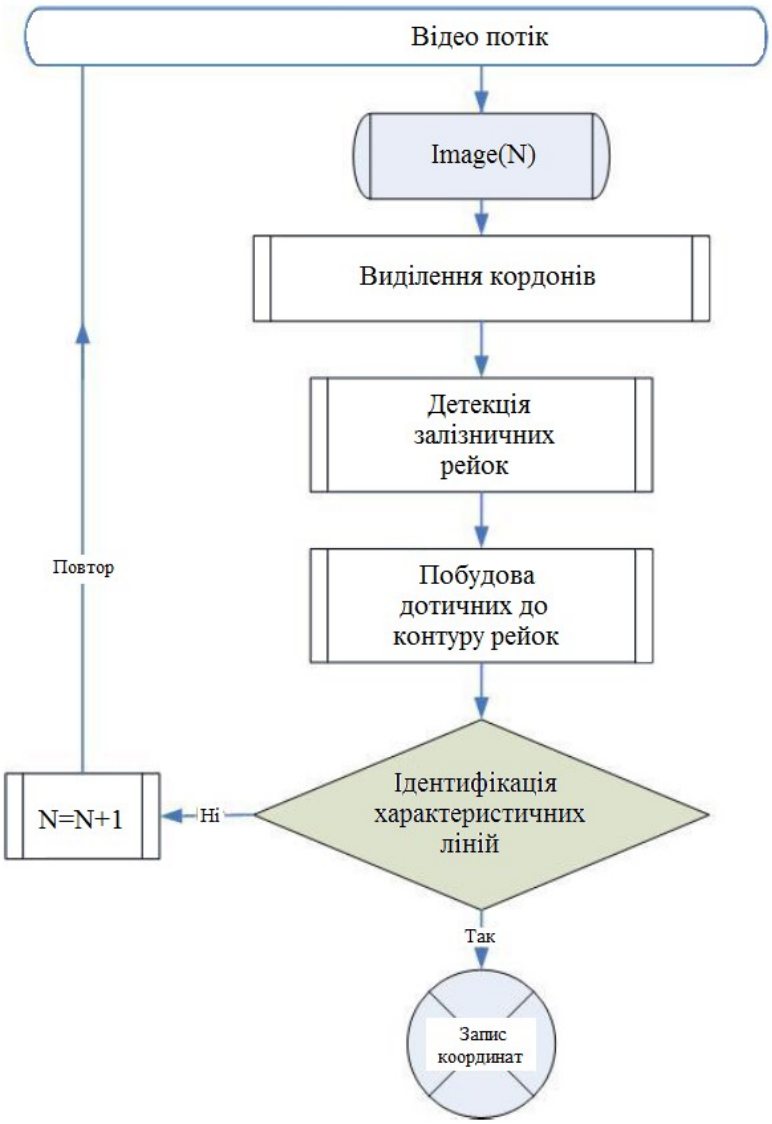


Рисунок 3.4 – Блок-схема алгоритму побудови площини ректифікації

Для побудови площини необхідно мати дві паралельні або лінії, що перетинаються [15]. Характеристичні лінії, якими планується будувати площину ректифікації, передбачається отримувати з допомогою алгоритму детекції залізничних рейок (АДЗР). Рейки – це об'єкт, котрий задовольняє умовам:

1) завжди присутні на зображенні, що аналізується;

2) можна побудувати дві характеристичні лінії, які є паралельними;

3) має відомий розмір відрізку відстані між характеристичними лініями.

Для вирішення задачі побудови площини ректифікації передбачається, що:

1) характеристичні лінії належать до площини ректифікації;

2) земна поверхня пласка;

3) площина ректифікації знаходиться перпендикулярно до вертикальної осі земної системи координат;

4) 3D карта пов'язана із єдиною системою координат.

Розрахувавши координати площини ректифікації за допомогою АДЗР, необхідно провести перетворення ЗСК на ЄСК. Результат перетворення ЗСК в ЄСК являє собою поверхню, що підстилає, збігається з площиною ректифікації, на якій відображені координати очікуваних об'єктів колійної інфраструктури. Аналізуючи розмір *Delta* можна з необхідною точністю розпізнавання об'єктів (рисунок 3.5), де *Delta* відстань від очікуваної координати об'єкта до проекції координати об'єкта що у 3D карті на площину ректифікації.

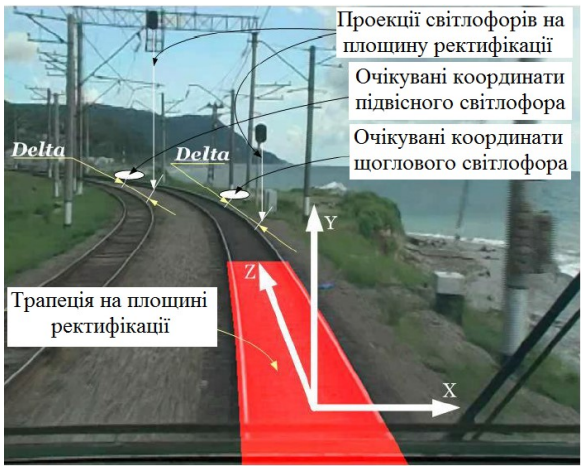


Рисунок 3.5 – Схема розрахунку точності розпізнавання об'єктів

Виділення ліній типу залізничну рейку можна проводити за допомогою методів лінійної просторової фільтрації. Метод виділення кордонів за допомогою градієнта ґрунтується на обчисленні перших похідних.

На рисунку 3.6 (*б*) представлений результат обробки зображення описаним вище алгоритмом. На обробленому зображенні виразно виділені області перепадів яскравості, які збігаються з областями знаходження залізничних рейок на еталонному зображенні.

За останні 40 років розроблено безліч операторів для крайової фільтрації на зображенні. Завдання виділення контуру рейок потребує застосування швидкого алгоритму, що дозволяє отримати надійні результати навіть на слабоконтрастних зображеннях.

При виділенні характеристичних ліній для побудови площини ректифікації пропонується використовувати характерні ознаки залізничних колій. Передбачається, що об'єкт типу залізнична рейка має:

1) безперервність на малій ділянці;

2) кут напрямку вектора градієнта $\alpha(x, y)$ в межах $\frac{\pi}{2} \pm 40$ градусів;

3) профіль розподілу яскравості по горизонтальній осі x подібний до гауссового розподілу.

Для підвищення стійкості виділення характерних ліній пропонується використовувати спеціалізований різницевий оператор, який дозволяє виконувати якіснішу сегментацію об'єкта типу залізничну рейку, ніж алгоритм обчислення градієнта.

Загальна схема алгоритму детекції залізничних рейок (АДЖР) складається з кількох етапів:

1) Попередня обробка еталонного зображення спеціалізованим різницевим оператором

$$G = A * f, \tag{3.15}$$

де f – аналізоване зображення, знак * позначає згортку зображення зі спеціалізованим різницевим оператором;

G – обробка аналізованого зображення спеціалізованим різницевим оператором.

2) Обчислення попередньої обробки зображення за умови

$$E = \begin{cases} G, \text{якщо } G > 0, \\ 0, \text{ якщо } G \le 0. \end{cases} \tag{3.16}$$

Складність при виділенні рейок виникає у сонячний день. Присутність на зображенні тіні від рейок вносить до спеціалізованого оператора різниці помилку орієнтації рейки щодо тіні. Для усунення цієї помилки необхідно реалізувати алгоритм визначення тіні. Якщо тінь знаходиться ліворуч щодо рейок, то необхідно виконувати вираз (3.16), інакше (3.17).

$$E = \begin{cases} G, \text{якщо } G < 0, \\ 0, \text{ якщо } G \ge 0. \end{cases} \tag{3.17}$$

На рисунку 3.6 (*в*) представлений результат обробки зображення описаним вище алгоритмом. На обробленому зображенні виразно виділені області перепадів яскравості, які збігаються з областями знаходження залізничних рейок на еталонному зображенні.



а *б* *в*

а – Еталонне зображення, *б* – Лінійна фільтрація, *в* – АДЗР

Рисунок 3.6 – Результати обробки зображень різними алгоритмами

З метою посилення характерних ознак рейок на зображенні після попередньої обробки та зменшення хибних ознак необхідно провести граничну фільтрацію зображення.

Для обчислення оптимального порога бінаризації пропонується використати метод Отсу [22]. Цей метод є найефективнішим із методів глобальної бінаризації. Основна ідея методу полягає у наступному. Нехай зображення є двовимірним масивом розміру $n \times m$, а значення елементів даного масиву лежать у діапазоні (0…255). Тоді гістограма цього зображення представлятиме одномірний масив $H[0...255]$, де кожен елемент $H(i)$ містить загальну кількість пікселів на зображенні, з інтенсивністю i.

Для розрахунку показника порогового значення пропонується такий вираз

$$Ots(t) = 1 - \frac{D(0,t) + D(t+1,255)}{D(0,255)}, \ при \ 0 < t < 255 \tag{3.18}$$

де $D(k,l)$ – оцінка дисперсії фрагмента гістограми $H[k...l]$, при $0 \le k,l \le 255$.

Усі значення масиву $Ots(t)$ лежать у діапазоні [0..1]. Класифікація з яскравості розподілу на два класи щодо порогового значення здійснюється ефективніше, якщо цей поріг вище. Алгоритм Отсу обчислює порогове значення всім рівнів яскравості вихідного зображення t=[0,…,255], у своїй оптимальний поріг визначається так

$$T = \arg\max Ots(t), \ при \ t \in [0,...,255]. \tag{3.19}$$

Отже, обчислення коефіцієнта, що показує граничне значення для бінарної класифікації, полягає у визначенні рівня яскравості, при якому показник граничного значення набуває максимального значення.

Результат виділення залізничних рейок на еталонному зображенні рисунок 3.6 (а) після застосування порогової фільтрації за допомогою

градієнта (де $G_x = 0$) та АДЗР відображено на рисунку 3.6 (б) та (в) відповідно. Таким чином, при використанні АДЗР синтезований фільтр, що виділяє об'єкт на зображенні типу рейок з більшою ефективністю, ніж методом градієнта. Ефективність алгоритм побудови площини ректифікації повністю залежить від якості виділення лінії типу рейок.

Побудова площини ректифікації виконується щодо параметрів характеристичних ліній, які, своєю чергою, визначаються на обробленому зображенні оптимальним спеціалізованим детектором контурів [27] з допомогою методу Хафа [28], реалізованого функцією cvHoughLines2 у бібліотеці Open_CV (*http://opencv.willowgarage.com/wiki/)* (рисунок 3.7).

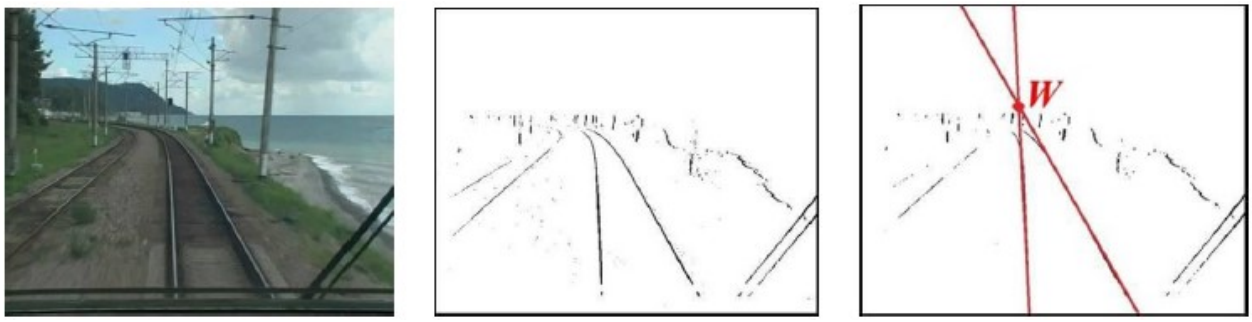


Рисунок 3.7 – Вихідне зображення, оброблене АДЗР, виділені характеристичні лінії відповідно

Ефективність побудови площини ректифікації впливає на якість комплексування відео з електронною геоінформаційною картою для виявлення світлової сигналізації. У свою чергу, ефективність побудови площини ректифікації залежить від якості виділення дотичних ліній до залізничних рейок. На рисунку 3.8 відображено ефективне виділення дотичних ліній, що задовольняють побудові площини ректифікації.

При виділенні кількох дотичних ліній чи виділенні ліній, які задовольняють умовам побудови площини ректифікації, з'являється помилка визначення осі шляху телевізійному зображенні. Помилкові лінії класифікуються на подібні лінії (рисунок 3.9), які виникають через кривизну

рейки та хибні лінії, що виділяються від інших об'єктів, що не належать до рейок (рисунок 3.10).

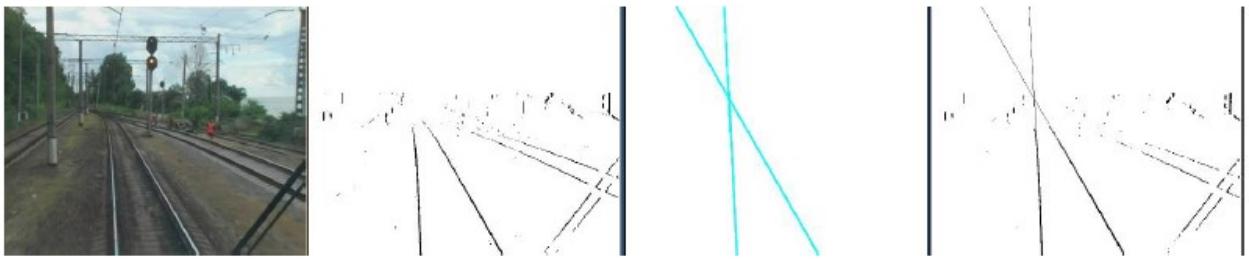


Рисунок 3.8 – Ефективне виділення дотичних ліній

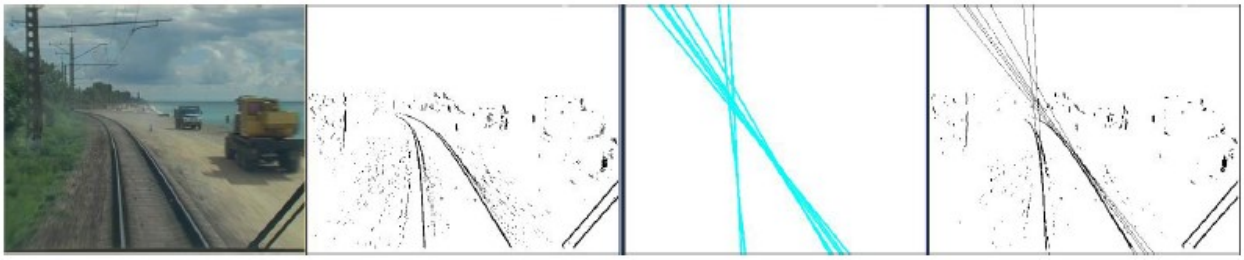


Рисунок 3.9 – Відображення подібних ліній

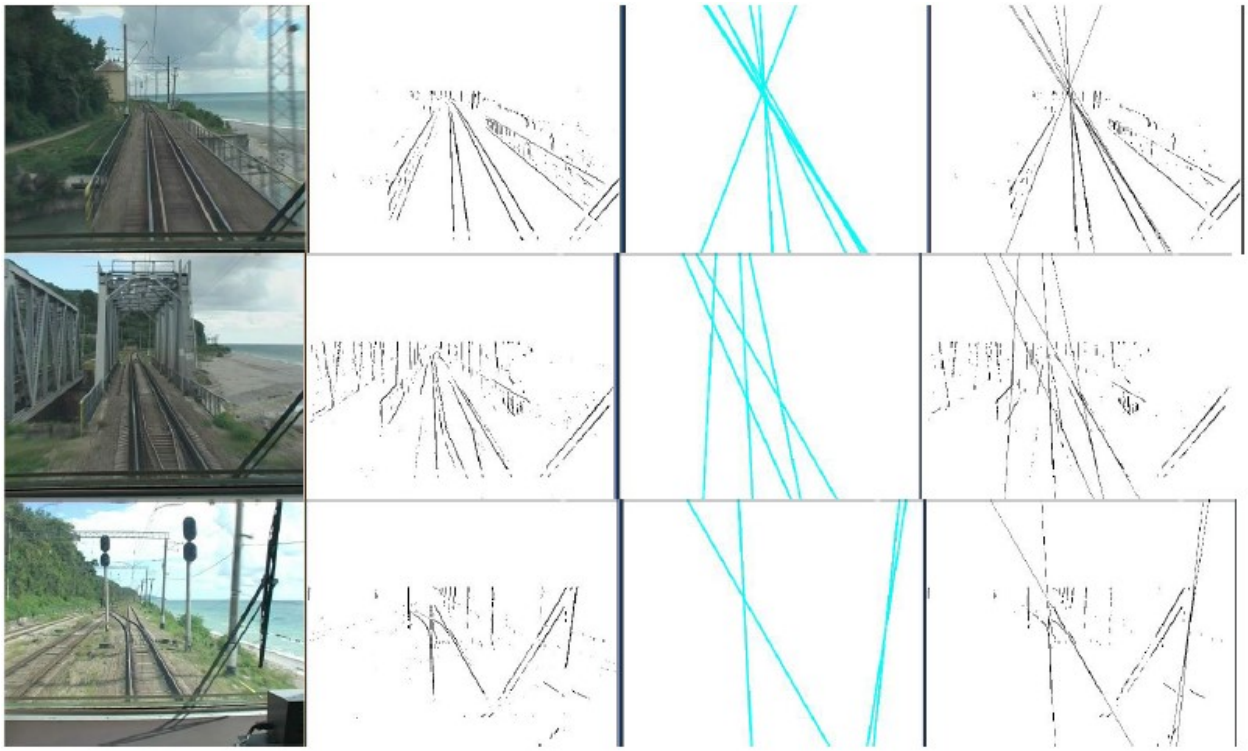


Рисунок 3.10 – Відображення хибних ліній

Класифікацію ліній можна проводити за допомогою обчислення відстані ρ від точки сходу W до лінії, що визначається. Якщо відстань від точки сходу W задовольняє припустиме значення, тоді лінія буде подібною, інакше - хибною і надалі ця лінія не буде аналізуватися.Подібні лінії, також можна аналізувати щодо кутів між лініями ω кута лінії осі колії.

Для комплексування відео з цифровою картою місцевості (ЦКМ) використовується поточна інформація, отримана від супутникової навігаційної системи, що входить в комплексний локомотивний пристрій безпеки. Метою комплексування інформації від ЦКМ на відеозображення, є позначення на відеозображенні координат залізничної осі колії, щодо якої проводитиметься класифікація подібних та хибних характеристичних ліній.

На рисунку 3.11 відображено графічну схему прив'язки поточних GPS/ГЛОНАСС координат локомотива з географічними координатами осі шляху Z, отриманих від ЦКМ. Після виконання процедури прив'язки поточних координат локомотива з координатами ЦКМ здійснюється проекція координат осі шляху Z на відеозображення, отримане від локомотивної системи технічного зору.

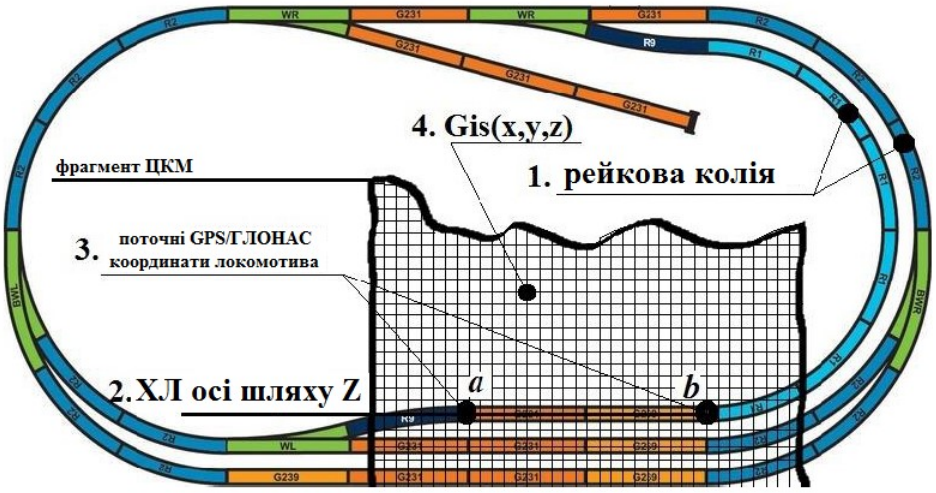


Рисунок 3.11 – Графічна схема відображення основних параметрів на прикладі схеми мініатюрної залізниці

Наведена вище графічна схема основних параметрів додаткової

інформації, що використовуються при комплексуванні на відеозображення, розглядається на прикладі мініатюрної залізниці, де

1) рейкова колія залізниці;

2) характеристична лінія осі шляху *Z*, яка визначає координати осі шляху *Z* прямому відрізку шляху (a,b);

3) поточні GPS/ГЛОНАСС координати локомотива;

4) цифрова карта місцевості (ЦКМ), де Gis – географічні координати, отримані з геоінформаційної системи (ГІС).

Площина ректифікації визначається двома характеристичними лініями P1 та P2, які є дотичними до рейок на певному відрізку залізничної колії. Знаючи координати характеристичних ліній, що належать площині ректифікації, можна визначити вісь залізничної колії. Вісь шляху є геометричним місцем точок рівновіддалених від точок обох характеристичних ліній і є бісектрисою кута ω. Щодо координат осі шляху *L* (рисунок 3.12a) розраховується розмір вікна, що сканує (рисунок 3.12b), яке буде накладатися на відеозображення для виявлення об'єктів інтересу. Для розрахунку припустимої помилки побудови осі шляху на площині ректифікації εd задаємо припустиму помилку відхилення координати центру вікна скануючого $\varepsilon=\{(\varepsilon x,\varepsilon y)|\ \varepsilon_x=15,\ \varepsilon_y=15)\}$, яка виражається у пікселях. Для впевненого виявлення об'єкта інтересу типу світлофор приймаємо розмір вікна, що сканує, який пропорційний координатам осі шляху *L* і, на ділянці *minD*, дорівнює: $A=\{(x,y)|\ x=20\pm\varepsilon_x,\ y=35\pm\varepsilon_y\}$, тобто. максимальний розмір вікна, що сканує, на ділянці *minD* не повинен перевищувати розмір x=50, y=65. На рисунку 3.12 відображено залежність ділянки інтересу *District* від фокусної відстані трансфокатора відеокамери f^n

$$Districrt = \frac{\overline{(L,C)}}{kf^n}, \tag{3.20}$$

де *L,C* – відстань від локомотива до проекції об'єкта інтересу на площину ректифікації;

k – коефіцієнт визначення дальності на зображенні щодо площини ректификации;

f^n – фокусна відстань трансфокатора.

Задаємо допустимі вимоги до оцінки точності локомотивної системи технічного зору (ЛСТЗ). Приймаємо, що на межі *minD*:

1) Розмір області інтересу не перевищує x=20, y=35 пікселів (рисунок 3.12b);

2) Допустиме відхилення центру області інтересу *Delta*=±2 метри;

3) Максимальний розмір ділянки залізничної колії *Districrt*=150 метрів,

4) Ширина рейкової колії дорівнює 1520 мм,

5) Відстань від основи світлофора до осі колії дорівнює 2750 мм,

6) Один піксель відеозображення відповідає 43 мм у географічній системі координат,

Кут відхилення осі колії не повинен перевищувати кут α2 (рисунок 3.13).

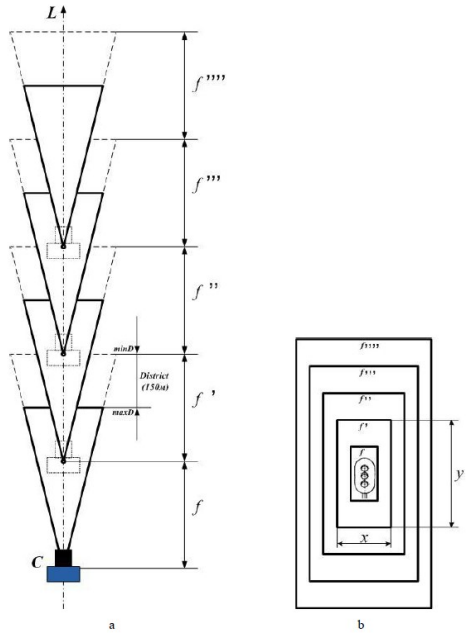


Рисунок 3.12 – Залежність ділянки інтересу *District* від фокусної відстані трансфокатора

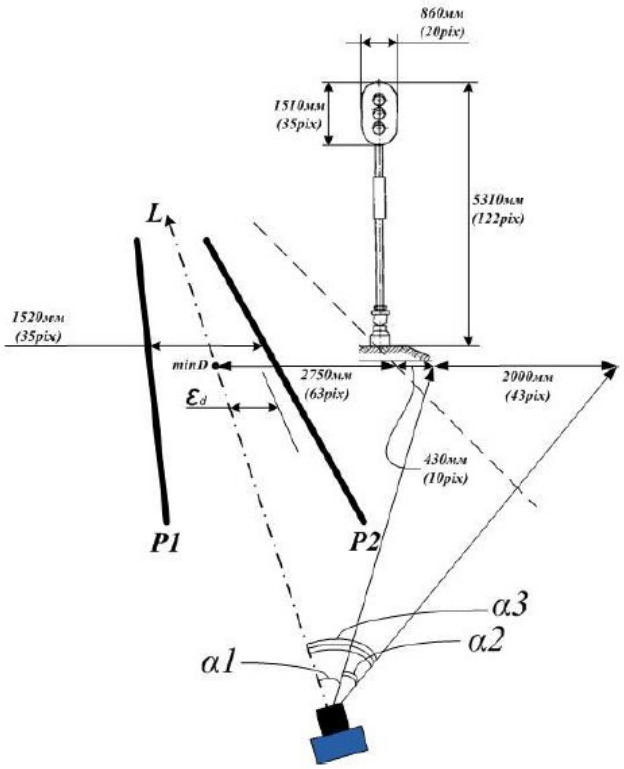


Рисунок 3.13 – Визначення припустимої помилки побудови осі колії

Поетапно методика комплексування відеозображення та ЦКМ виглядає наступним чином:

1) Під час руху локомотива, в режимі реального часу, отримує від супутника поточні GPS/ГЛОНАСС координати локомотива;

2) Поточні координати локомотива прив'язуються з географічними координатами, одержаними від ЦКМ;

3) Визначаються географічні координати вісі шляху на певному відрізку залізничної колії (a, b).

4) За допомогою матриць переходу виконується проекція поточних географічних координат осі шляху *Z* на відеозображення.

3.3 Дослідження завадостійкості алгоритму визначення об'єктів на колії

Завдання полягає в необхідності оцінки надійності комплексного алгоритму виявлення об'єктів на шляхах проходження локомотива, заснованого на визначенні безперервності рейок. Для оцінки надійності комплексного алгоритму виконано порівняльний аналіз ефективності виявлення на шляхах проходження локомотива об'єкта типу автомобіль на попередньо обробленому зображенні оператором Кані та оператором Собеля.

Для виконання завдання виявлення об'єкта типу автомобіль на шляху проходження локомотива було розроблено програмне забезпечення, що складається з двох частин. Перша частина програмного забезпечення реалізована серед програмування «MatLab R2010a» для здійснення функції імітації на зображенні шумових впливів із заданими характеристиками. Друга частина програмного забезпечення реалізована в середовищі програмування Qt Creator 2.0.1 і дозволяє проводити послідовний аналіз зображень для отримання імовірнісних характеристик алгоритму виявлення об'єкта типу автомобіль на шляху локомотива. За допомогою відеомонтажу було створено добірку «навчальної» бази зображень з наявністю автомобіля на шляху проходження локомотива і за допомогою першої частини програмного забезпечення були реалізовані шумові впливи на зображення відповідно до розглянутої методики. Код програми реалізація алгоритму імітації білого шуму на зображенні виглядає наступним чином (рисунок 3.14)

```
[R,map]=imread('C:\Sklad_TLM\3\Rec_VTS_01_4_0110.bmp');
I = rgb2gray(R);
I2=im2double(I);
si=std2(I2);
m=mean2(I2);
d=si^2;
b = 0.5;
s = si/sqrt(b),
d = s^2;
Is = imnoise(I2, 'salt & pepper',  d);
figure, imshow(Is);
```

Рисунок 3.14 – Приклад коду програми реалізація алгоритму імітації білого шуму

Методика є ітераційний аналіз відеозображень, що у основі відеозображень, алгоритмом виявлення об'єктів на поточному відеозображенні. Ухвалення рішення про виявлення об'єкта типу автомобіль здійснювалося за допомогою методу Вальда. Перед проведенням випробувань на стійкість роботи алгоритму виявлення об'єкта на шляхах прямування локомотива розраховувалися та аналізувалися помилки прийняття рішення 1-го та 2-го роду на гістограмі ймовірностей присутності та відсутності об'єкта типу автомобіль на зображенні попередньо обробленому оператором Кани (рисунок 3.15) та Собеля (рисунок 3.16) з навчальної бази зображень. За результатами досліджень гістограми ймовірностей були визначені області невизначеності Λ_0, Λ_1, Λ_2.

Розглянемо експеримент, проведений із базою зображень попередньо оброблених оператором Канни. На першій ітерації експерименту з бази зображень випадково вибиралося зображення, на якому проводився відеоаналіз за допомогою комплексного алгоритму виявлення об'єкта на шляхах локомотива. Внаслідок роботи комплексного алгоритму розраховувався коефіцієнт правдоподібності виявлення об'єкта. У випадках попадання значення коефіцієнта правдоподібності в область невизначеності з бази зображень випадково вибиралося наступне зображення і виконувалася друга ітерація експерименту відеоаналізу за допомогою комплексного алгоритму. Ітерації експерименту виконували доти, доки коефіцієнт правдоподібності не потрапляв у певну зону, розраховану методом Вальда або число ітерацій вбирається у допустиме число. Подібний експеримент проводився з базами зображень попередньо оброблених оператором Кани та Собеля, а також з базами зображень, на які попередньо були накладені шумові дії. Шумові впливи здійснювалися за допомогою накладання "білого шуму" на зображення з коефіцієнтом β(сигнал/шум)=0.5,1,3,5,10,15.

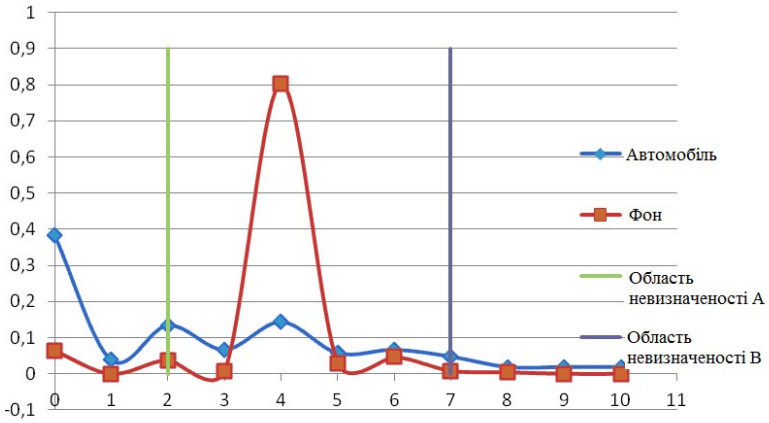


Рисунок 3.15 – Гістограма присутності об'єкта на зображенні попередньо обробленому оператором Кани

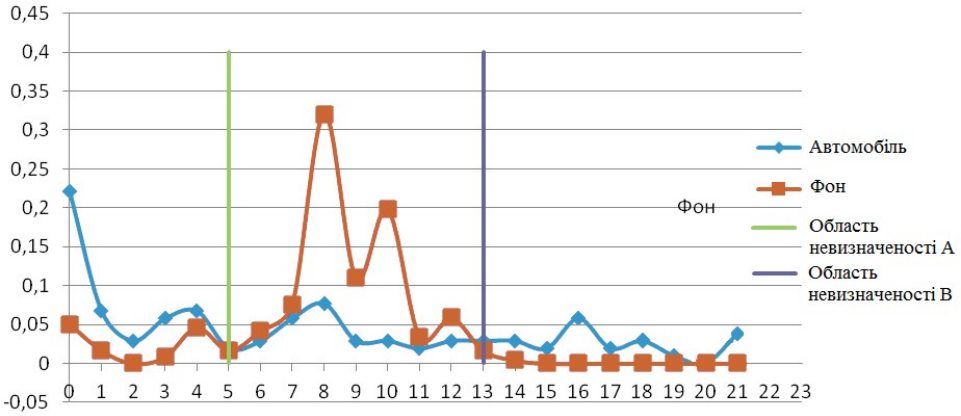


Рисунок 3.16 – Гістограма присутності об'єкта на зображенні попередньо обробленому оператором Собеля

На рисунку 3.15 та 3.16 представлені результати виявлення об'єктів інтересу типу автомобіля за допомогою критерію Вальда. Простір ознак, кількість білих пікселів, що потрапили в маску, розділена на три області. При попаданні значення ознаки до лівої області приймається рішення: «Об'єкт відсутній». При попаданні до середньої області приймається рішення: «Продовжити пошук». При попаданні до правої області приймається рішення: «Об'єкт присутній».

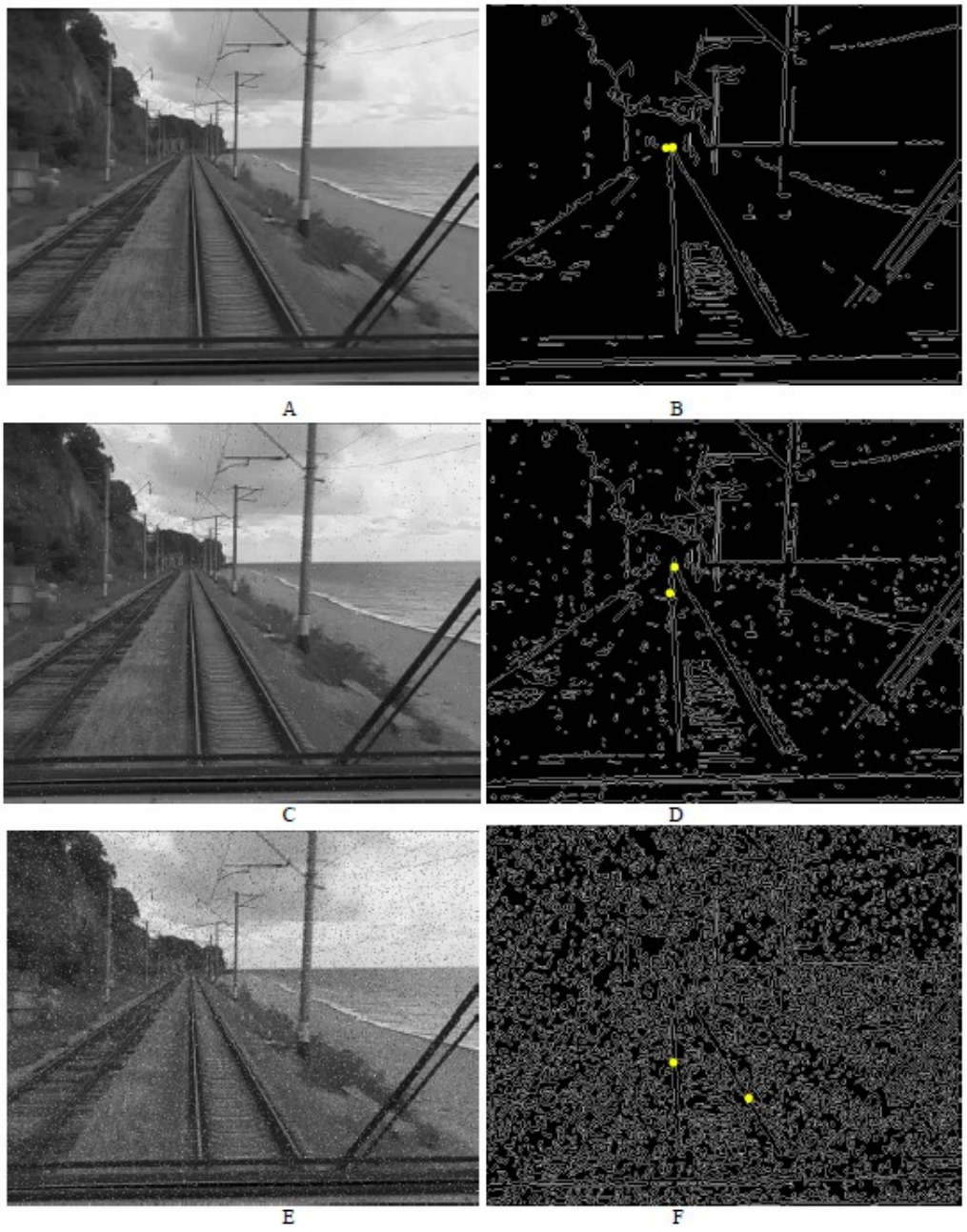
Для виконання досліджень алгоритму виявлення об'єктів на рейках потрібно проведення низки попередніх досліджень даного алгоритму на

стійкість виявлення безперервності рейок. У цьому виконанні дослідження з аналізу стійкості виявлення комплексним алгоритмом об'єкта типу рейок. Результат визначення комплексним алгоритмом переривання рейки на зображенні відображався яскравою жовтою точкою. У разі потрапляння "жовтої точки" в область точки сходу *W* приймалося рішення про успішний результат експерименту, інакше експеримент вважався невдалим. Спеціальним програмним забезпеченням проводилося зашумлення еталонного зображення і з допомогою візуального аналізу положення «жовтої точки» щодо точки сходу *W* проводилася оцінка стійкості роботи комплексного алгоритму зображеннях з накладеними шумами. Результати роботи комплексного алгоритму на еталонному зображенні та зображеннях з шумовими впливами β(сигнал/шум)=3,5 відображені на рисунку 3.17.

З дослідження визначення комплексним алгоритмом нерозривності рейкового ланцюга можна побачити, що маркер (який позначається «жовтою точкою) у разі B – показує відсутність розриву рейкового ланцюга, а випадках D і F – вказує на явний розрив. Це визначається незведенням координат маркера з координатою точки сходу *W*.

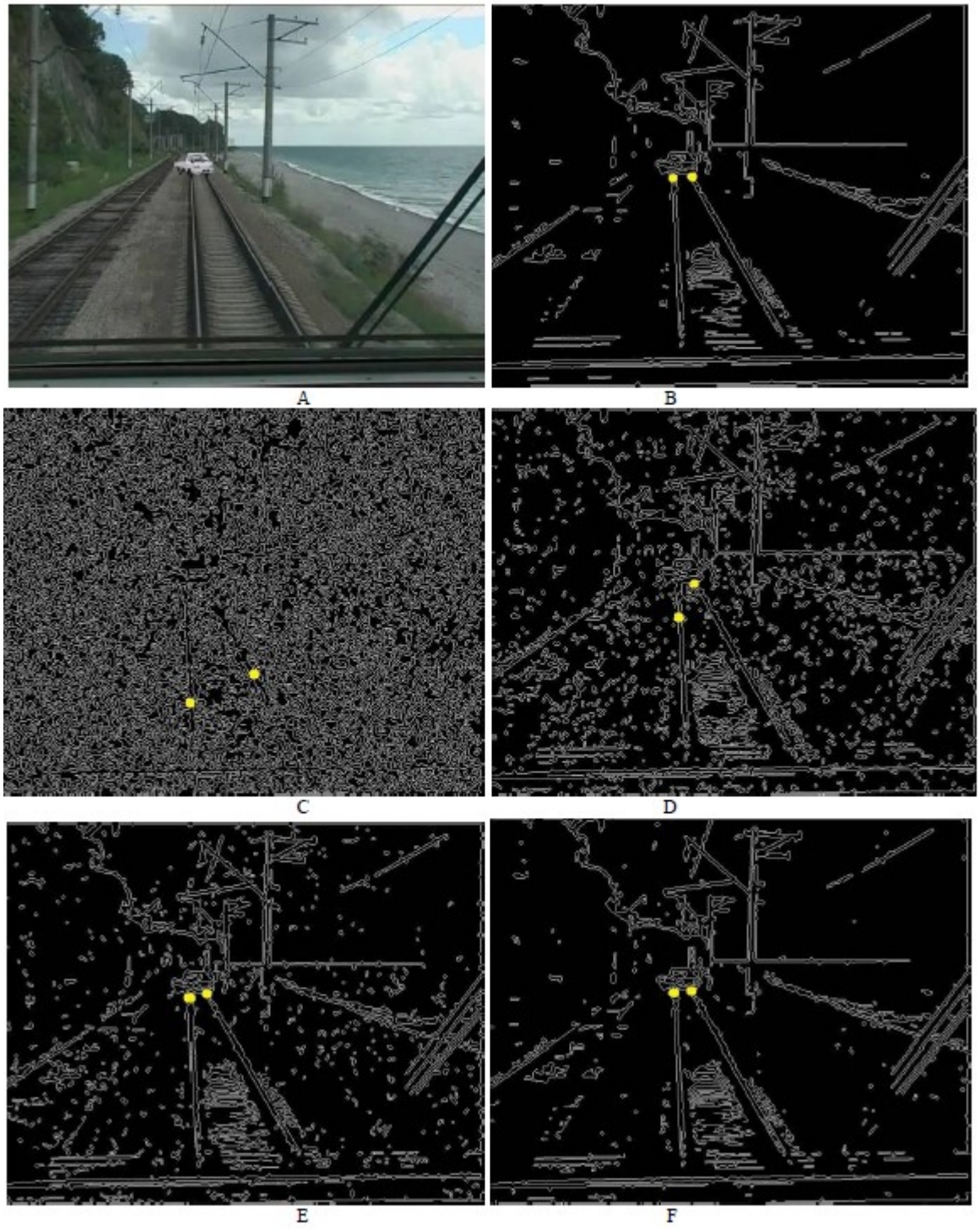
Дослідження ефективності роботи комплексного алгоритму виявлення об'єкта типу автомобіль на шляхах проходження локомотива проводилися на базі тестових зображень. На тестових зображеннях за допомогою відеомонтажу в районі шляху локомотива з різним видаленням були накладені зображення автомобіля. Ефективність роботи комплексного алгоритму визначалася на основі показників коефіцієнтів правдоподібності, отриманих після застосування алгоритму виявлення об'єктів на зображеннях у тестових базах з різним ступенем зашумленості. Визначення комплексним алгоритмом наявність розриву рейкового ланцюга візуально відображено яскравою жовтою точкою на рисунках 3.17 – 3.22. Результат роботи комплексного алгоритму зображення, попередньо обробленого оператором Канни, відображено на рисунках 3.17 – 3.19. Результат роботи комплексного алгоритму зображення, попередньо обробленого оператором Собеля,

відображено на рисунках 3.20 – 3.22.



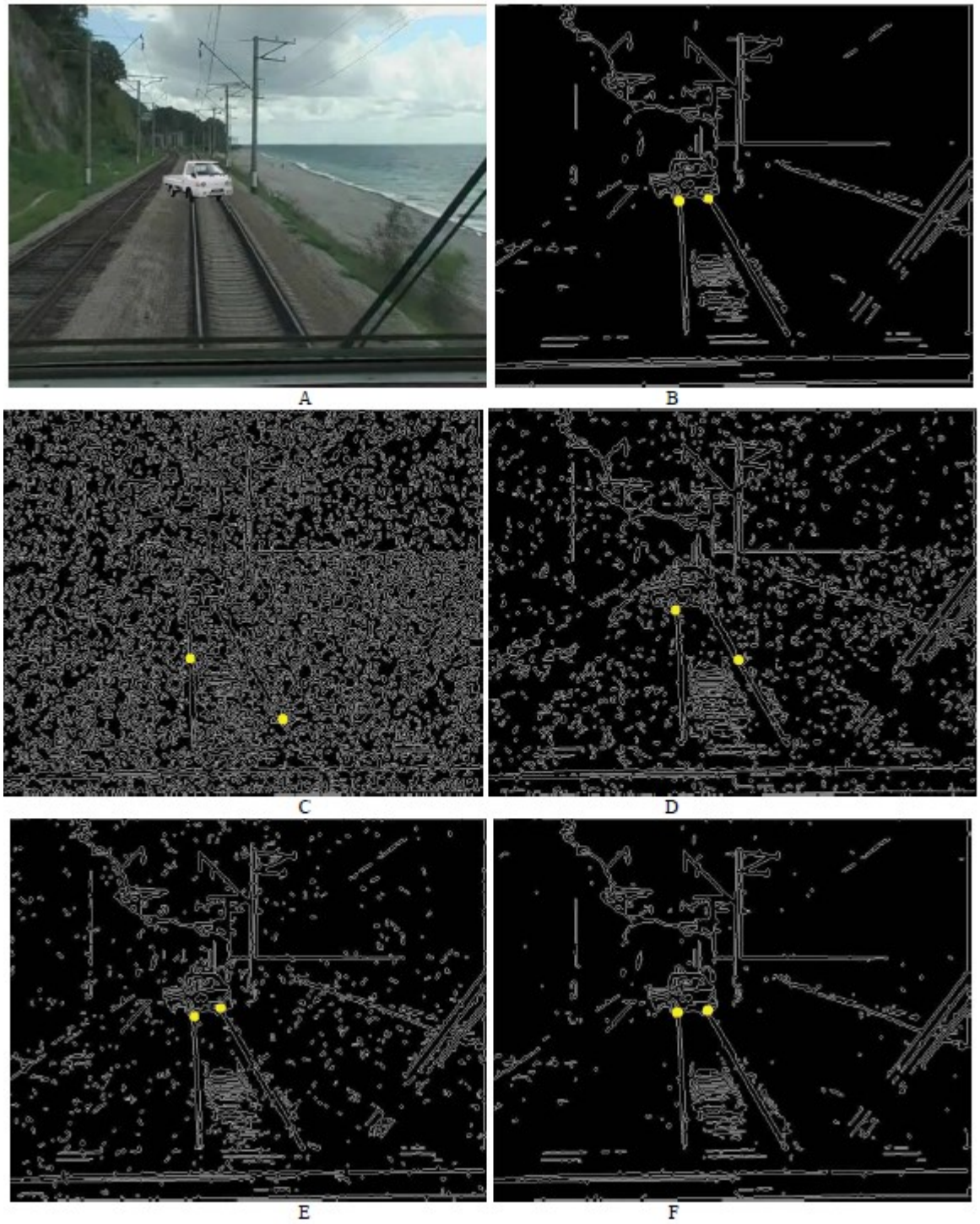
A – Еталонне зображення; C,E – Зашумлене зображення з β(сигнал/шум)=5,3 відповідно; B,D,F – Виділення контуру оператором Кани на еталонному та зашумленому зображенні з β(сигнал/шум)=5,3 відповідно

Рисунок 3.17 – Результати роботи комплексного алгоритму



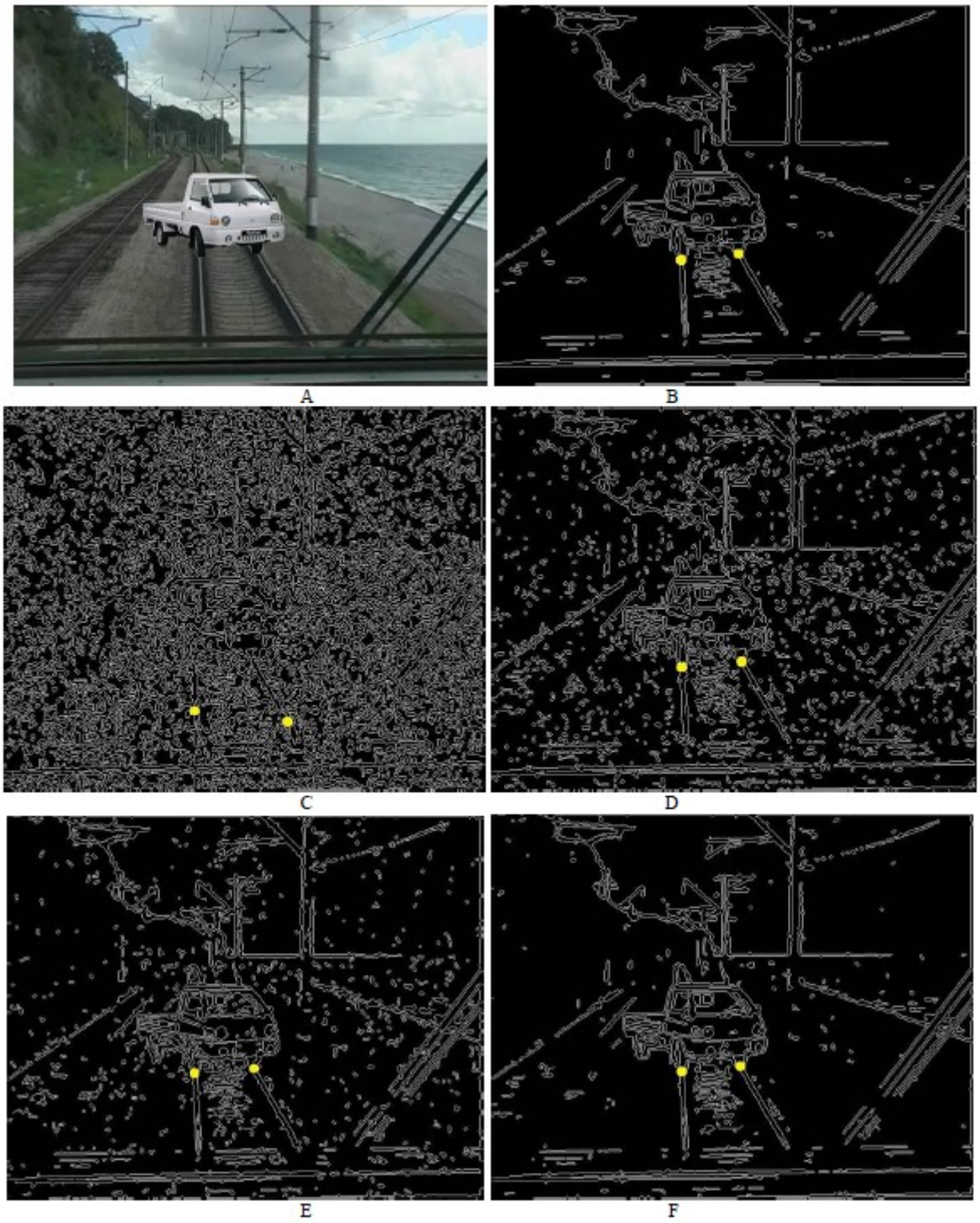
A – Зображення 1; B – Виділення контуру оператором Кани на не зашумленому зображенні; C,D,E,F – Виділення контуру оператором Кани на зашумленому зображенні з β=1,3,5,15 відповідно

Рисунок 3.18 – Результати роботи комплексного алгоритму



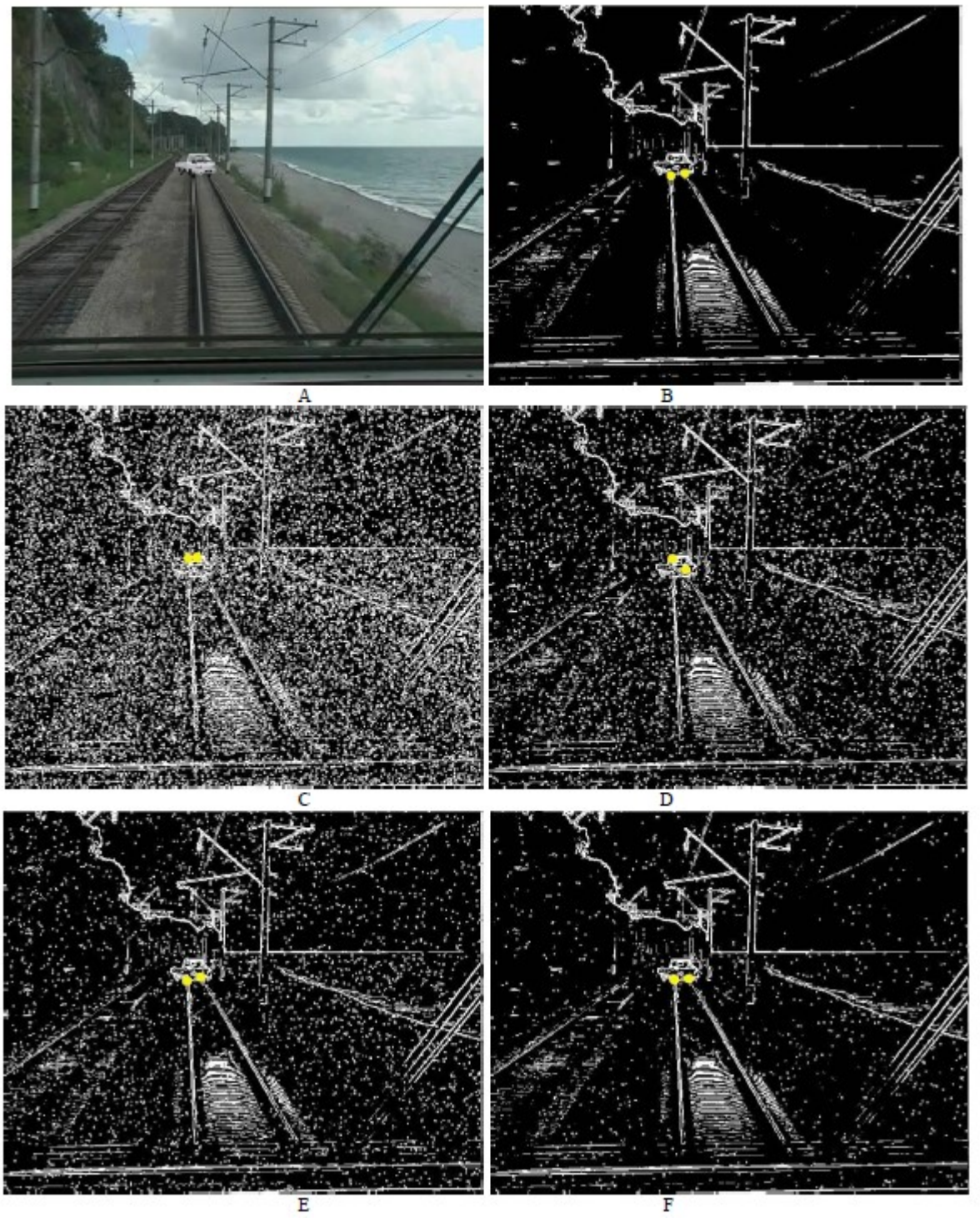
A – Зображення 5; B – Виділення контуру оператором Кані на не зашумленому зображенні; C,D,E,F – Виділення контуру оператором Кані на зашумленому зображенні з β =1,3,5,15 відповідно

Рисунок 3.19 – Результати роботи комплексного алгоритму



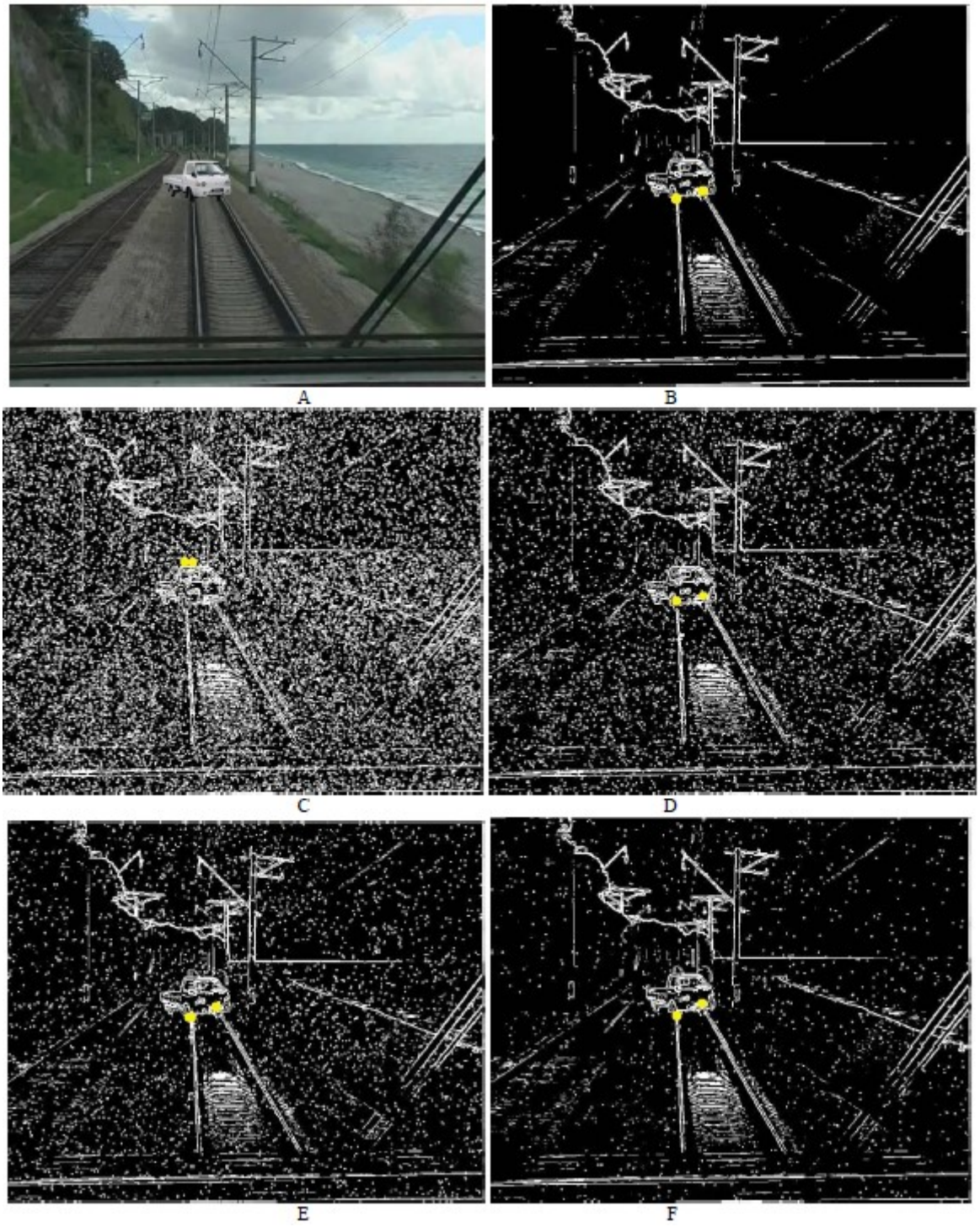
A – Зображення 9; B – Виділення контуру оператором Кані на не зашумленому зображенні; C,D,E,F – Виділення контуру оператором Кані на зашумленому зображенні з β =1,3,5,15 відповідно

Рисунок 3.20 – Результати роботи комплексного алгоритму



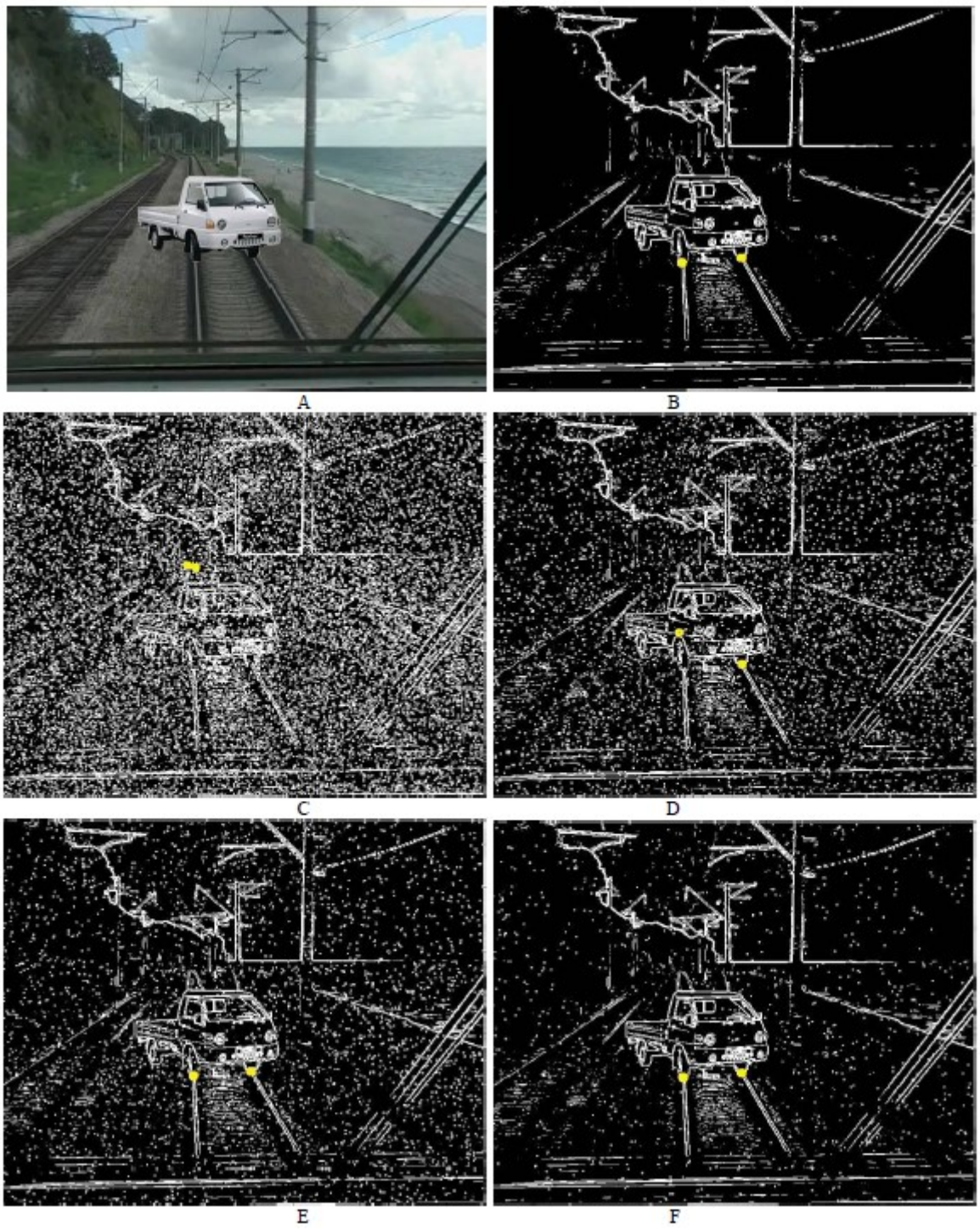
A – Зображення 1; B – Виділення контуру оператором Собеля на не зашумленому зображенні; C,D,E,F – Виділення контуру оператором Собеля на зашумленому зображенні з β =1,3,5,15 відповідно

Рисунок 3.21 – Результати роботи комплексного алгоритму



A – Зображення 5; B – Виділення контуру оператором Собеля на не зашумленому зображенні; C,D,E,F – Виділення контуру оператором Собеля на зашумленому зображенні з β =1,3,5,15 відповідно

Рисунок 3.22 – Результати роботи комплексного алгоритму



A – Зображення 9; B – Виділення контуру оператором Собеля на не зашумленому зображенні; C,D,E,F – Виділення контуру оператором Собеля на зашумленому зображенні з β =1,3,5,15 відповідно

Рисунок 3.23 – Результати роботи комплексного алгоритму

З проведеного аналізу роботи комплексного алгоритму виявлення об'єкта типу автомобіль на шляхах прямування локомотива можна бачити, що маркер на рисунку 3.17: у випадку B, E, F - показує вірне виявлення координат об'єкта, а у випадках C і D - вказує помилкові. Це визначається незведенням координат маркеру з координатами візуального визначення краю об'єкта.

4 Техніко-економічне обґрунтування інтеграції технологій машинного зору в комплекс безпеки

4.1 Техніко-експлуатаційна характеристика запропонованого рішення

Розвиток залізниць, як основного транспортного оператора країни, безпосередньо впливає на розвиток економіки всієї країни в цілому, і є стратегічною галуззю, в якій необхідно використовувати найсучасніші технологічні рішення. У багатьох країнах постійно ведуться роботи з модернізації і розробки нових комплексів забезпечення безпеки руху локомотива, включаючи розробку «інтелектуального потяга» з вбудованою системою автоведення і самодіагностики. Розробляються принципово нові системи діагностики і моніторингу об'єктів інфраструктури і рухомого складу. Це призводить до підвищення безпеки руху та до скорочення збоїв в залізничних перевезеннях.

Сучасні системи залізничної автоматики і телемеханіки вимагають безаварійної і безвідмовної роботи для забезпечення безпеки провізної здатності залізниць. Такі фактори, як розташування населених пунктів уздовж залізничних колій, високий рівень перешкод для штатної роботи технічних засобів, висока насиченість сторонніх об'єктів (перешкод) на шляхах проходження локомотива, велика швидкість поїздів і багато інших явищ негативно впливають на безпеку навколишнього оточення для руху рухомого складу і сприяють виникненню надзвичайних ситуацій.

На залізницях України для передачі сигнальних показань світлофора, які інформують машиніста, використовується автоматична локомотивна сигналізація. Її призначення полягає в тому, щоб проводити аналіз інформації від підлогових пристроїв шляхом прийому і аналізу кодованого електричного сигналу, який передається по рейковому колу. Система АЛС з каналом передачі інформації по рейковим ланцюгах не може виключити вплив

намагнічених рейок, наведень від зовнішніх джерел, частих відмов передавальної і приймальної апаратури, а також рейкової лінії. Таким чином, в даному каналі передачі інформації про стан сигналу світлофора можуть виникати помилки, які можуть призвести до розвитку аварійних ситуацій. Рішення завдання безпечного пересування по залізницях при збільшенні швидкості поїзда ускладнюється наявністю помилок людини-оператора.

При тривалій поїздці на великих швидкостях людині дуже складно правильно реагувати на небезпечну ситуацію, вчасно і безпомилково оцінюючи (ідентифікуючи) показання світлофора. Рішення таких завдань як модернізація і дублювання автоматичних засобів контролю, розширення функціональних можливостей апаратури, зменшення впливу на перевізний процес помилок людини-оператора дозволить підвищити безпеку пересування транспортних засобів на залізницях.

У даній роботі розглядається можливість додавання локомотивної системи технічного зору до апаратури комплексного локомотивного пристрою безпеки з метою зниження впливу помилок людини-оператора в процесі ведення локомотиву. При цьому, автоматизуються пошук світлофора, ідентифікація його сигналів і виявлення перешкод на шляху проходження локомотива і частково автоматизується система ведення поїзда, вибір необхідного потужності локомотива, для подолання ділянки шляху, що в свою чергу дозволить машиністам з недостатньою кваліфікацією отримувати підказки і проїжджати маршрут на одному рівні з висококваліфікованими машиністами, що в свою чергу приведе до зменшення витрат палива. Реалізацію процедур пропонується організувати на основі автоматичної обробки і аналізу видової інформації, прийнятої системою спостереження.

4.2 Формування вихідних даних для проведення економічних розрахунків

Економічний ефект розраховується на кожен рік життєвого циклу проекту окремо, з приведенням його до розрахункового року. Розрахунковим роком слід приймати останній рік життєвого циклу проекту.

Приведення економічного ефекту з першого до останнього року життєвого циклу називається компаундуванням. З цією метою для кожного року життєвого циклу проекту визначається відповідний коефіцієнт приведення.

Головним економічним показником роботи підприємства в умовах ринкової економіки являється прибуток, ріст якого забезпечується як збільшенням обсягу і підвищенням якості продукції (перевезень), так і скороченням експлуатаційних витрат. Це визначає значення удосконалення техніки і технології виробництва, прискорення науково - технічного прогресу (НТП), що являється основними шляхами зниження собівартості і покрашення якості промислової продукції (робіт, послуг) залізничного транспорту.

Економічний ефект заходу з НТП визначається згідно з умовами використання продукції за розрахунковий період. Сукупний економічний ефект визначається як перевищення вартісної оцінки результатів над вартісною оцінкою сукупних витрат ресурсів за строк здійснення заходу НТП. Визначення економічного ефекту проводиться за умови обов'язкового приведення різнотермінових вартісних оцінок результатів і витрат до єдиного моменту часу – розрахункового періоду. Витрати на встановлення запропонованого обладнання приведені в таблиці 4.1.

Економічний ефект передбачається отримувати завдяки економії пального за рахунок енергозберігаючих режимів руху, які розраховуються в реальному масштабі часу безпосередньо на борту локомотива з

підтриманням якості водіння поїздів на високому рівні незалежно від кваліфікації машиністів та підвищення безпеки руху за рахунок точного виконання швидкісного режиму.

Таблиця 4.1 – Витрати на встановлення обладнання на одному локомотиві

Найменування	Вартість, грн.	Загальна вартість, грн.
Блок системний (БС)	140000	140000
Блок індикації (БІ)	120000	120000
Блок дискретного управління (БДУ)	120000	120000
Система вимірювальних перетворювачів	160000	160000
Реєстратор параметрів руху і автоведення поїзда РПДА	150000	150000
Монтаж		14000
Транспортування		5000
Всього		709000

4.3 Розрахунок показників економічної ефективності від впровадження обладнання

За даними експлуатації для перевезення вантажів на заданих ділянках обороту, довжиною 522 км вантажний локомотив витрачає приблизно 160 кг дизельного палива, або 190 л на 100 км руху в голові поїзда встановленої маси. Вартість одного літру дизельного палива для розрахунку економічного ефекту приймаємо 28 грн.

Фактичний повний оборот локомотива на ділянці визначений у першому розділі складає 38,4 год. В такому разі кількість повних оборотів локомотива в продовж року дорівнюватиме

$$n_{об} = \frac{8760}{T} \tag{4.1}$$

де T – фактичний повний оборот локомотива на ділянці, згідно з даними локомотивного депо.

$$n_{об} = \frac{8760}{38,4} = 228,13 \approx 228 \text{ об.}$$

Витрати палива на фактичний оборот локомотива складуть, л

$$P_T = \frac{Л}{K_м} \cdot 2(L_{АБ} + L_{АВ}), \tag{4.2}$$

де $Л$ – обсяг спаленого палива, л;

$K_м$ – пройдений шлях, км.;

$L_{АБ}$ – приймаємо плече обороту 174 км., згідно із даними локомотивного депо;

$L_{АВ}$ – приймаємо плече обороту 348 км., згідно із даними локомотивного депо.

$$P_T = \frac{190}{100} \cdot 2(174 + 348) = 1983,6 \text{ л.}$$

Завдяки використання системи автоведення, стає можливою економія пального за рахунок енергозберігаючих режимів руху, які розраховуються в реальному масштабі часу безпосередньо на борту локомотива з підтриманням якості водіння поїздів на високому рівні незалежно від кваліфікації машиністів. Для обраного профілю шляху при використанні нового обладнання економія палива складе близько 10 л на 100 км шляху у голові поїзда.

Економічний ефект розраховується при умові, що річний обсяг перевезень не змінюється.

Таким чином економічний ефект одержуємо з різниці витрат по існуючій та новій технології. Визначення економічного ефекту виконується при умові обов'язкового приведення різночасних вартісних оцінок результатів та витрат до єдиного для всіх варіантів реалізації заходу НТП моменту часу розрахункового року.

Економічний ефект від впровадження високоефективного обладнання Эт, грн., за весь життєвий цикл проекту визначається за формулою:

$$Э_T = P_T - З_T, \tag{4.3}$$

де $Э_T$ – економічний ефект від реалізації заходу в цілому за весь його життєвий цикл, що приведений до розрахункового року, грн;

P_T – вартісна оцінка сукупних результатів (вигоди) від реалізації проекту за його життєвий цикл, що приведені до розрахункового року, грн;

$З_T$ – вартісна оцінка сукупних витрат на реалізацію проекту за його життєвий цикл, що приведенні до розрахункового року, грн.

Формула (4.3) може бути представлена у вигляді

$$Э_T = \sum_{t=1}^{n} Э_t \cdot a_t = \sum_{t=1}^{n} (P_t - З_t) \cdot a_t \tag{4.4}$$

де $Э_T$ – економічній ефект від здійснення заходу в році t життєвого циклу, грн;

P_t – вартісна оцінка результатів (вигоди) від здійснення проекту в році життєвого циклу, грн;

$З_t$ – вартісна оцінка витрат на здійснення заходу в році життєвого циклу, грн;

n – кількість років життєвого циклу проекту 10;

α_t – коефіцієнт приведення результатів і затрат різних років до розрахункового року.

При визначенні економічного ефекту вартісна оцінка результатів (вигод) і витрат, що отримані в будь-якому році життєвого циклу проекту, слід приводити до розрахункового року. Розрахунковим роком слід приймати перший чи останній рік життєвого циклу проекту. Приведення результатів і затрат року до першого року життєвого циклу проекту називається дисконтуванням, а до останнього року життєвого циклу – компаундуванням.

З цією метою для кожного року t життєвого циклу проекту визначається відповідний коефіцієнт приведення (α_t).

Для приведення результатів і затрат ($P_t, З_t$) будь-якого року (t) до першого року життєвого циклу проекту (при дисконтуванні) застосовується формула

$$a_t = \frac{(1+E)^t}{[(1+E)(1+I+R)]} t_k = \frac{(1+0{,}2)}{(1+0{,}2)\cdot(1+0{,}1)\cdot(1+0{,}17)}, \qquad (4.5)$$

де E – середня річна ставка комерційних банків за депозитними вкладами (дисконтна ставка), в долях одиницях. При 20% річних Е=0,2;

R – ставка, що враховує ступінь ризику здійснення проекту, в долях одиниці, R=10 %;

І – середньорічний темп інфляції, що прогнозується в період здійснення проекту(17%), в долях одиниці;

t_k – кількість років, що відділяють рік від року, результати і витрати якого приводять до розрахункового року.

Якщо результати і затрати будь-якого року здійснення проекту приводяться до останнього року його життєвого циклу (при компаундуванні), коефіцієнти приведення визначаються за формулою

$$a_t = \frac{(1+E+R)^{t_л}}{(1+I+R)^{t_л}} = \left(\frac{1+E+R}{1+I+R}\right)^{t_л} \quad (4.6)$$

Якщо $\frac{P_t}{З_t} \geq 1$,то це є позитивним фактором здійснення проекту.

Розрахунки економічного ефекту від запропонованих заходів наведені у таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Розрахунок економічного ефекту від запропонованого впровадження

Роки розрахункового періоду	Капітальні вкладення, тис грн.	Витрати до впровадження, тис грн.	Витрати після впровадження, тис грн.	Ліквідаційне сальдо, тис грн.	Економічний ефект за 1 рік, тис грн.	Коефіцієнт приведення	Приведений економічний ефект, тис грн.	Економічний ефект з наростаючим підсумком, тис. грн.
2026	709	12663	11996	-	-42	1	-42	-42
2027	-	12663	11996	-	667	0,77	513,59	471,59
2028	-	12663	11996	-	667	0,594	396,2	867,79
2029	-	12663	11996	-	667	0,457	304,82	1172,6
2030	-	12663	11996	-	667	0,352	234,78	1407,4
2031	-	12663	11996	-	667	0,271	180,76	1588,1
2032	-	12663	11996	-	667	0,209	139,4	1727,6
2033	-	12663	11996	-	667	0,161	107,39	1834,9
2034	-	12663	11996	-	667	0,124	82,708	1917,6
2035	-	12663	11996	36	667	0,096	64,032	1945,7

Згідно отриманим розрахункам у даній таблиці економічний ефект з наростаючим підсумком на 10 рік експлуатації локомотива з встановленою

системою автоведення вантажного поїзда складе понад 1945,7 тис грн. Тобто проведення модернізації є економічно доцільним.

Висновки

На основі проведених досліджень в магістерській роботі “ Розроблення пропозицій з інтеграції технологій машинного зору в комплекс безпеки тягового рухомого складу” отримані наступні висновки:

1) Виконано аналіз існуючих комерційних та експериментальних бортових систем машинного зору тягового рухомого складу. Визначено ключові фактори та причини виникнення помилок машиніста в умовах інтенсивного експлуатаційного навантаження.

2) Досліджено структурно-функціональну організацію комплексу машинного зору з урахуванням специфіки його цільового застосування. Доведено, що суттєве підвищення точності оцінювання відстаней до небезпечних ділянок колії досягається завдяки комплексному використанню потокової відеоінформації та цифрової карти місцевості.

3) Проаналізовано та адаптовано алгоритми виявлення й розпізнавання показань світлової сигналізації залізничної інфраструктури та перешкод. Запропоновано методику формування електронної карти з геопросторовими координатами напільних світлофорів. Проведено порівняльний аналіз колірних просторів для надійного розпізнавання сигналів та обґрунтовано алгоритм їх колірної класифікації методами комп'ютерного зору.

4) Запропоновано математичну модель процесів виявлення та ідентифікації сторонніх об’єктів у габариті залізничної колії в умовах експлуатаційних завад.

5) Розроблено комплексні пропозиції щодо інтеграції технологій машинного зору в штатні системи безпеки. Запропоновано апаратно-програмну модель пристрою відеоконтролю для інформаційної підтримки локомотивної бригади. Ефективність цього рішення полягає у розширенні зони візуального контролю для машиніста за рахунок використання

відеокамер, спрямованих у передню та задню напівсфери огляду, що дозволяє мінімізувати «сліпі зони» та знизити ризик аварійних ситуацій.

6) Виконано техніко-економічне обґрунтування, яке підтверджує доцільність та експлуатаційну ефективність впровадження розроблених систем машинного зору на залізничному транспорті.

Список використаних джерел

1. Іванов, Ю.А. Використання технологій комп'ютерного зору в системах автоведення на залізничному транспорті [Електронний ресурс]. – Режим доступу http://www.sworld.com.ua/index.php/ua/transportation/rail/3442-ivanov-sa

2. Chiang, Cheng-Chin. Detecting and recognizing traffic lights by genetic approximate ellipse detection and spatial texture layouts [Text] / Cheng-Chin Chiang, Ho Ming-Che, Liao Hong-Sheng, Pratama Andi, Syu Wei-Cheng // ICIC International. – 2011. – ISSN 1349-4198. – pp. 6919-6934.

3. Paletta, Lucas. Detection of Traffic Signs Using Posterior Classifier Combination [Text] / Lucas Paletta // Institute of Digital Image Processing: Joanneum Research Wastiangasse. – №6, A-8010 Graz. – Austria. – 2002.

4. Paletta, Lucas. Detection of Traffic Signs Using Posterior Classifier Combination [Text] / Lucas Paletta // Institute of Digital Image Processing: Joanneum Research Wastiangasse. – №6, A-8010 Graz. – Austria. – 2002.

5. RioTinto [Електронний ресурс]. – Режим доступа: http://www.riotinto.com/documents/Media-Speeches /5.__Jack_Sato_presentation .pdf

6. The Telegraph [Електронний ресурс]. – Режим доступа: http://www.telegraph.co.uk/finance/newsbysector/energy/2791727/Rio-Tinto-invests-190m-in-driverless-trains-to-boost-iron-ore.html

7. Bahnbilder [Електронний ресурс]. – Режим доступа: http://www.bahnbilder.de/name/einzelbild/number/467577/kategorie/deutschland~gueterwagen~sonstige.html

8. Siemens [Електронний ресурс]. – Режим доступа: http://www.siemens.com/innovation/en/publikationen/publications_pof/pof_fall_2002/cargomover.htm

9. GE Transportation [Електронний ресурс]. – Режим доступа: http://www.getransportation.com/rail/rail-products/locomotives/on-board-systems/lococam.html

10. Akerstroms [Електронний ресурс]. – Режим доступа: http://www.akerstroms.com/en/products/locomote__627

11. Броневич, А.Г. Детектування та ідентифікація опор контактної мережі за даними лазерного сканування [Текст] / А.Г.Броневич, Ю.А.Іванов, В.І.Уманський, Д.А.Якушев // Праці першої науково-технічної конференції «Інтелектуальні системи управління на залізничному транспорті ІСУЗТ-2012». – Київ. – 2012. – С.182-185.

12. Sokolov, S.M. Intellectual Images Processing for a Realtime Recognition Problem. [Text] / S.M.Sokolov, A.A.Boguslavsky // Proc. The 2nd Intern. Multi-Conf. on Complexity, Informatics and Cybernetics IMCIC 2011). – Orlando. – Florida. – USA., – 2011. – Vol. II. – p.406-411.

13. Stepanov, A.A. (1995) The Object-Oriented Frame Approach to Image Processing and Management in the Multisensory Remote Sensing [Text] / A.A.Stepanov, Yu.V.Visilter, Yu.V.Morzeev, S.Yu.Zheltov // SPIE Proc. Intern. Archives of Photogrammetry and Remote Sensing. – 1995. – V.2587.

14. Li, J. Real-time computerized annotation of pictures [Text] / Jia Li, James Z. Wang // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. — 2008. — Vol. 30, no. 6. — Pp. 985–1002.

15. Zhai, C. The dual role of smoothing in the language modeling approach [Text] / Chengxiang Zhai, John Lafferty // Proceedings of the Workshop on Language Models for Information Retrieval (LMIR) 2001. — 2001. — Pp. 31–36.

16. Вальд, А. Послідовний аналіз [Текст] / А.Вальд // Пер. з англ. – R.: Фізматгіз. – 1960.

17. Pat. 3069654 U.S.A. Hough, P.V.C. Method and means for recognizing complex patterns [Text] / P.V.C.Hough. – 1962.

Додаток А

АКТ

перевірки кваліфікаційної роботи магістра на наявність ознак академічного плагіату

Відповідно до даних сервісу Strikeplagiarism.com кваліфікаційна робота магістра на тему: «Розроблення пропозицій з інтеграції технологій машинного зору в комплекс безпеки тягового рухомого складу.» автора: Стаєцького Ярослава Миколайовича містить 0,51 % запозичень. Ознаки академічного плагіату – відсутні.

Перевірку виконав
ст. викладач кафедри
експлуатації та ремонту
рухомого складу _____ Олександр АНАЦЬКИЙ
(підпис)

09.06.2026 р.