

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Український державний університет залізничного транспорту

Кафедра «Автоматика та комп'ютерне телекерування рухом поїздів»

Розробка інтегрованих роботизованих системи для технічного обслуговування залізничних колій та інфраструктури з використанням автоматизованих роботів

Пояснювальна записка

до випускної кваліфікаційної роботи першого

освітнього ступеня бакалавр

Розробив студент групи 133-АКІТ-Д22

спеціальності 151 «Автоматизація та

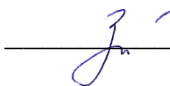
комп'ютерно-інтегровані технології»

 Стефанець Д.А

Керівниця д.т.н., професорка

 Ананьева О.М.

Рецензент к.т.н., доцентка

 Зінченко О.Є.

Харків 2025

Анотація

Бакалаврська кваліфікаційна робота на здобуття ступеня бакалавр за спеціальністю 151 Автоматизація та комп'ютерно – інтегровані технології на тему Розробка інтегрованих роботизованих системи для технічного обслуговування залізничних колій та інфраструктури з використанням автоматизованих роботів. Український державний університет залізничного транспорту, кафедра «Автоматика та комп'ютерне телекерування рухом поїздів» – Харків, 2025 рік, 74 сторінки пояснювальної записки, містить 1 таблицю та 20 рисунків, список використаних джерел містить з 65 найменувань.

Бакалаврська кваліфікаційна робота присвячена дослідженню та розробці систем аналізу та моніторингу залізничної інфраструктури за допомогою так званих розумних роботів(дронів). У роботі проведено аналіз існуючих методів контролю стану об'єктів, розглянуто їх різновиди. Розглянуто реальний тип дронів, який застосовується для огляду стану технічних об'єктів.

Другий розділ присвячений розробці систем для оглядів стану залізничних мостів, контролем за станом рейок та прилеглих до залізниці об'єктів за допомогою існуючих типів датчиків та новітніх технологій аерозйомки. Доведена ефективність впровадження таких систем на залізниці.

У третьому розділі розглядається спосіб передавання цифрової інформації з дронів на пости керування для подальшого аналізу. Визначені переваги та недоліки використання дронів у по'єднанні «людина – машина», доведена їх практичність.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ДРОНИ, БПЛА, КАМЕРИ ШИРОКОЇ РОЗДІЛЬНОСТІ, LiDAR ДАТЧИКИ, ІНФРА-ЧЕРВОНІ ДАТЧИКИ, ЗАЛІЗНИЧНІ МОСТИ, РЕЙКИ, ТРІЩИНИ, ДЕФЕКТИ, НЕСПРАВНОСТІ, 3D-МОДЕЛЬ, ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ, МАШИННЕ НАВЧАННЯ, СИСТЕМИ, ОБ'ЄКТИ

Abstracts

Bachelor's thesis for a bachelor's degree in the specialty 151 Automation and Computer-Integrated Technologies on the topic Development of integrated robotic systems for technical maintenance of railway tracks and infrastructure using automated robots. Ukrainian State University of Railway Transport, Department of Automation and Computerized Train Traffic Control – Kharkiv, 2025, 74 pages of explanatory notes, contains 1 table and 20 figures, the list of sources used contains 65 items.

The bachelor's thesis is devoted to the research and development of systems for analyzing and monitoring railway infrastructure using so-called smart robots (drones). The thesis analyzes existing methods of monitoring the condition of objects and considers their varieties. It considers the actual type of drones used to inspect the condition of technical objects.

The second chapter is devoted to the development of systems for inspecting the condition of railway bridges, monitoring the condition of rails and objects adjacent to the railway using existing types of sensors and the latest aerial photography technologies. The effectiveness of implementing such systems on the railway is proven. The third section examines the method of transmitting digital information from drones to control posts for further analysis. The advantages and disadvantages of using drones in a “human-machine” combination are identified, and their practicality is proven.

KEYWORDS: DRONES, UAVs, HIGH-RESOLUTION CAMERAS, LiDAR SENSORS, INFRARED SENSORS, RAILWAY BRIDGES, RAILS, CRACKS, DEFECTS, MALFUNCTIONS, 3D MODEL, ARTIFICIAL INTELLIGENCE, MACHINE LEARNING, SYSTEMS, OBJECTS

Український державний університет залізничного транспорту

Факультет інформаційно – керуючих систем та технологій

Кафедра автоматики та комп'ютерного телекерування рухом поїздів

Ступінь вищої освіти: бакалавр

Спеціальність: 151 «Автоматизація, комп'ютерно – інтегровані технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри,

доцент, канд. техн. наук

 Василь СОТНИК

«6» Січня 2025

ЗАВДАННЯ ДО ВИПУСКНОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ПЕРШОГО ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ БАКАЛАВР

Стефанець Давиду Андрійовичу

1 Тема Впровадження інновацій для покращення системи автоматичної ідентифікації рухомого складу

Керівник Ананьєва Ольга Михайлівна, доктор технічних наук, професор затверджені розпорядженням по факультету інформаційно – керуючих систем та технологій від «6» січня 2025 року №

2 Строк подання студентом закінченої роботи «26» травня 2025 року

3 Вихідні дані

Технічні умови для дронів систем для залізничного транспорту; Технічна документація: Системи дронів DJI Matrice RTK(M300) Технічні характеристики датчиків типу LiDAR та ІЧ; Технічні характеристики відеокамер та оптичних датчиків; Стандарти на застосування дронів; Вимоги до систем безпеки на залізничному транспорті;

Показники точності дронів систем; Статистика невірних даних; Набори даних для навчання нейронних мереж; Специфікації апаратури; Технічні характеристики дронів систем.

4 Зміст розрахунково – пояснювальної записки

1 Аналіз сучасних систем моніторингу за допомогою дронів систем

2 Проектування системи контролю за допомогою існуючих типів БПЛА

3 Проектування системи передачі інформації з дронів систем

5 Перелік графічного матеріалу

1 Датчики типу LiDAR та ІЧ камери

2 Аналіз будови розумних роботів

3 Способи передачі інформації з БпЛА в мережі

4 Обробка отриманих даних та їх аналіз

6 Дата видачі завдання «24» Січня 2025 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН ВИПУСКНОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

№/П	Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз сучасних систем моніторингу за допомогою дронівих систем	01.03.2025 р.	
2	Проектування системи контролю за допомогою існуючих типів БпЛА	01.04.2025 р.	
3	Проектування системи передачі інформації з дронівих систем	01.05.2025 р.	

Примітка - Розгорнутий календарний план виконання випускної кваліфікаційної роботи наведений у додатку до завдання.

Студент Давид ДАВИД СТЕФАНЕЦЬ

Керівник Ольга ОЛЬГА АНАНЬЄВА

ДОДАТОК ДО ЗАВДАННЯ КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН ВИПУСКНОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

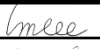
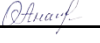
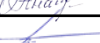
Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
Вступ	26.05.2025р.	
1. Технічні можливості та функціональне призначення безпілотних літальних апаратів у залізничній галузі	01.03.2025р.	
1.1. Призначення дронів у сфері залізничного транспорту	01.03.2025р.	
1.2. Аналіз функціоналу сучасних БПЛА для потреб залізничної інфраструктури	01.03.2025р.	
1.3. Огляд існуючих технологічних рішень щодо використання дронів на транспорті	01.03.2025р.	
2. Практичне застосування дронів для моніторингу стану залізничної інфраструктури	01.04.2025р.	
2.1 Використання дронів для контролю стану рейок	01.04.2025р.	
2.2. Застосування БПЛА для огляду мостів і штучних споруд	01.04.2025р.	
2.3 Аналіз ефективності виявлення дефектів за допомогою аерозйомки та сенсорних систем	01.04.2025р.	
3. Перспективи розвитку та масштабування систем з використанням дронів	01.05.2025р.	
3.1. Способи передачі даних з дронів у системи залізничної автоматики	01.05.2025р.	
3.2. Взаємодія дронів із засобами сигналізації, централізації та блокування	01.05.2025р.	
3.3 Безпекові аспекти застосування БПЛА для моніторингу залізничної інфраструктури	01.05.2025р.	
Висновок	26.05.2025р.	
Список використаної літератури	26.05.2025р.	
Додаток А	26.05.2025р.	
Додаток Б	26.05.2025р.	
Додаток В	26.05.2025р.	
Додаток Г	26.05.2025р.	

Студент Імєєє Давид СТЕФАНЕЦЬ

Керівник ОАнап Ольга АНАНЬСВА

Зміст

Вступ	9
Розділ 1. Технічні можливості та функціональне призначення безпілотних літальних апаратів у залізничній галузі	12
1.1. Призначення дронів у сфері залізничного транспорту	12
1.2. Аналіз функціоналу сучасних БПЛА для потреб залізничної інфраструктури	14
1.3. Огляд існуючих технологічних рішень щодо використання дронів на транспорті	19
Розділ 2. Практичне застосування дронів для моніторингу стану залізничної інфраструктури	29
2.1. Використання дронів для контролю стану рейок	29
2.2. Застосування БПЛА для огляду мостів і штучних споруд	35
2.3 Аналіз ефективності виявлення дефектів за допомогою аерозйомки та сенсорних систем	44
Розділ 3. Перспективи розвитку та масштабування систем з використанням дронів	52
3.1. Способи передачі даних з дронів у системи залізничної автоматики	52
3.2. Взаємодія дронів із засобами сигналізації, централізації та блокування	56
3.3 Безпекові аспекти застосування БПЛА для моніторингу залізничної інфраструктури	59
Висновок	64
Список використаної літератури	66
Додаток А	72
Додаток Б	73
Додаток В	Ошибка! Закладка не определена.
Додаток Г	Ошибка! Закладка не определена.

					ВКР 01.25.01.12 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Стефанець Д.А			Розробка інтегрованих роботизованих системи для технічного обслуговування залізничних колій та інфраструктури з використанням автоматизованих роботів	Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевір.		Ананьєва О.М					8	74
Реценз.						УкрДУЗТ 133 – АКІТ – д22		
Н. Контр.		Ананьєва О.М						
Затверд.		Сотник В.О						

Вступ

На початку 20-х років XXI століття цифрові технології та автоматизовані системи увійшли в новий етап, коли до них змогли залучити нові типи систем. Найбільш актуальною в наш час є ІІІ, який отримав мовну систему(2022р), і зміг хоч і не досконало, проте вести діалог з людиною[1]. В наступні роки ІІІ розвивався досить стрімкими кроками, і згодом його змогли залучати в різні сфери людського життя, одним з яких стали дрони.

FPV-дрони - це новітня технологія, використання якої в різних сферах промисловості досягає значних висот, адже це універсальний пристрій в багатьох аспектах життя людини. Варто згадати, що перший дрон, який дійсно був економічно вигідним та мобільним(розробки самих дронів велися з 1980-х років) використовувався для аерозйомки, та мав досить обмежений функціонал на відміну від теперішніх, які зараз за продуктивністю можуть зрівнятися, а в дечому - навіть перевершити людину[2]. Фото, яке зроблене за допомогою дрона наведено в додатку А.

Дрони пройшли досить великий шлях від звичайних БпЛА, які в середині 10-х років XXI століття використовувалися виключно як «літаючі» камери для отримання унікальних краєвидів - і аж до сьогодні, коли дрони додали в списки своєї сфери діяльності такі галузі, в яких людина - була невід'ємною частиною, але теперішні інновації дозволяють дрону та людині працювати в парі, як керуючий об'єкт та оператор. Проте з плином часу і науковим прогресом дрони зможуть адаптуватися до несприятливих, а іноді і до небезпечних умов праці, і замінити людину в ланці контролю та моніторингу, економлячи значну частину часу і відповідно - захищаючи людину від можливих нещасних випадків. За прогнозами аналітиків, світовий ринок дронів до 2026 року досягне вартості понад 41,3 мільярда доларів[3]. Склад дрону наведений в додатку Б.

					ВКР 01.25.01.12 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розглянемо найбільш відомі і цікаві застосування дронів в сучасному світі - від доставки товарів - і до порятунку життів, випереджаючи а іноді - переважаючи в своїй мобільності людину, забезпечуючи ефективність процесів.

Логістичні та дрони доставки. Логістичні дрони - це міні (до 50 кг)безпілотники літакового або коптерно/вертолітного, які призначені для контролю за товарами та вантажами, які прибувають в пункт прийому, і проходять сортування для подальшого відправлення. Такі дрони оснащені сканерами для штрих-кодів та RFID-зчитувачами для сканування відповідно RFID-марок. За допомогою цих пристроїв оператор, перебуваючи дистанційно на своєму робочому місці, проводить інвентирізацію та оцінює стан доставлених пакунків на наявність пошкоджень. Впровадження таких типів дронів на величезних складах дозволяє підвищити точність обліку на 25% і скоротити необхідний час на повний огляд десь на 80%[4].

Дрони доставки - це габаритні важкі безпілотники типу міді, які можуть переносити вантаж вагою від 5 до 50 кілограм[5]. Ці дрони мають перевагу у порівнянні з тим самим автомобілем за рахунок своєї мобільності, оскільки ці дрони можуть доставляти вантаж у важкодоступні місця, такі як острови, місця з поганою дорожньою інфраструктурою або в гори. Ще однією перевагою дрона перед автомобілем є його екологічність, оскільки дрон врізає шкідливі викиди CO₂ в атмосферу аж на 54% в великих містах[6]. Доставка дронами змогла вкоротити час доставки порівняно з наземним транспортом аж на 70%, і зменшити ціну доставки - 40%[7]. Тому такі флагмани в сфері доставки як DHL та Amazon інвестують в такий спосіб доставки.

Пошуково-рятувальні та медичні трони. Ці дрони є представниками класу міні та мікро, оскільки в цій сфері дрони більше цінуються за свою швидкість, ніж за вагу вантажу, яку вони зможуть нести. Рятувальні БпЛА обладнані термокамерами, та камерами з функцією HD-зйомки, які чудово працюють в нічний час або за умов поганих погодних умов. Ці пристрої грають вирішальну

					ВКР 01.25.01.12 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

роль при пошуку людей, які зникли з поля зору. Такі дрони ефективніше виконують пошук постраждалих на 80%, а час, який витрачається на ці самі пошуки скоротився на 30-70%[8]. Медичні БПЛА також виконують рятувальну функцію, проте ці дрони вже працюють в ролі «кур'єра першої допомоги», прибуваючи до постраждалого на 16 хвилин швидше ніж звичайна «швидка допомога», і ці хвилини можуть врятувати життя людині[9]. 3D - модель рятувального дрона наведена в додатку В.

Дрони для контролю та моніторингу енергетичної інфраструктури. Ці типи БПЛА являють собою комплекс девайсів та систем, адже при оглядах критичної інфраструктури є вкрай важливим увага до дрібних деталей, чому і сприяють дрони з можливостями встановлення на них додаткових датчиків, камер та систем з ІІІ. Такі дрони вже інспектують лінії електропередач, виявляючи в них корозію та механічні ушкодження, надаючи всю необхідну інформацію обслуговуючому персоналу, і це в 15 разів є ефективнішим способом ревізії, ніж якби цим займалась людина[10]. Це стосується і залізничної інфраструктури, де дрони вже працюють над контролем стану рейкових ліній, залізничних мостів, та досить практично об'єднують свої системи з системами залізничної автоматики. Дрон з камерою типу LiDAR наведений в додатку Г.

В цьому дипломному проекті будуть розглядатися дрони – як ефективні методи контролю та моніторингу на залізничному транспорті. Буде доведена ефективність і надійність їх впровадження у порівнянні з вже існуючими методами інспекції.

Висновок

Дрони - це новітній крок до автоматизації залізничних процесів. Огляд, моніторинг, контроль та безпека може забезпечуватися безпілотними системами, що грає лише на покращення та оптимізацію цих процесів. Хоча людина є невід'ємною частиною цього процесу, вона тепер може врізати свою фізичну діяльність в певних процесах передавши естафету БпЛА, а самим – займатися аналізом та критичним оцінюванням даних, які вона отримує від цієї технології. І хоча цим системам не вистачає доопрацювань та модернізацій, перші кроки в проектуванні було зроблено. Завдяки цьому дрони стали працювати ефективніше, швидше і в певній мірі критично аналізувати свої ж бази даних на основі машинного навчання та ШІ.

Окрім цього безпілотні системи мають безпековий ефект, замінюючи людину на роботі з небезпечними об'єктами. Людське життя – це безцінний ресурс, і підприємства повинні робити усе необхідне задля безпеки їхнього персоналу. І такими заходами безпеки виступають дрони, працюючи в небезпечних умовах. І хоча існує ризик пошкодити апарат в ряду тих чи інших причин, забезпечити його ремонт буде значно швидше і дешевше у порівнянні з людиною.

Економічна ефективність також була доведена. Хоча деякі технології вимагають значних інвестицій, і на деяких ділянках колії їх впровадження не є доцільним, вони зможуть окупитись в майбутньому, і збільшити кількість доходів в декілька разів, що є вигідною і вартою уваги інвестицією.

Підсумовуючи усе вище сказане, можна сміливо заявити, що безпілотні системами варто впроваджувати на підприємствах через ряд своїх переваг у порівнянні з людиною при моніторингу об'єктів залізничної інфраструктури та місцевості навколо неї.

					ВКР 01.25.01.12 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

Список використаної літератури

- 1.Wikipedia. Хронологія розвитку штучного інтелекту: 2020-ті: III в реальному житті. Стаття.
- 2.Wikipedia. Безпілотний літальний апарат: Історія. Стаття.
- 3.Фрост & Саліван. Аналіз світового ринку комерційних дронів 2021-2026. Нью-Йорк, 2022.
- 4.Логістичний дослідницький центр. Трансформація складських операцій за допомогою дронів. Дослідження, 2022.
- 5.Класифікація дронів: які види та типи бувають?. Стаття. 2024.
- 6.Екологічний інститут транспорту. Порівняльний аналіз вуглецевого сліду різних методів доставки у міському середовищі. Дослідження, 2023.
- 7.МакКінсі & Компанія. Революція у логістиці останньої милі: аналіз ефективності дронів-кур'єрів. Звіт, 2023.
- 8.Міжнародна асоціація пошуково-рятувальних операцій. Статистичний аналіз ефективності використання дронів у рятувальних місіях 2020-2023. Звіт, 2023.
- 9.Медичний журнал швидкої допомоги. Вплив часу доставки автоматичних дефібриляторів на виживання при серцевих нападках поза лікарнею. Дослідження, 2022.
- 10.Журнал електроенергетики. Порівняльний аналіз методів інспекції ліній електропередач. Дослідження, 2022.
- 11.International Railway Journal. KRRI автоматизує інспекцію інфраструктури за допомогою дронів та штучного інтелекту.
- 12.SMARAGD. Використання дронів для виявлення пошкоджень залізничних повітряних ліній на ранній стадії.
- 13.Дрони для моніторингу залізниць: переваги та випадки використання.

					ВКР 01.25.01.12 ПЗ	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

14.Дрони для залізниці: Реальні переваги, приклади використання та рентабельність інвестицій.

15.Американська Асоціація Залізниць. Економічний аналіз використання БПЛА для інспекції мостів: показники 2022-2023 рр. Вашингтон, 2023.

16.Рахман М., Сінгх К. Нейромережеві алгоритми виявлення дефектів рейок та скріплень на основі аналізу зображень з БПЛА.

17.Браун А., Сміт Дж. Тепловізійний моніторинг контактної мережі електрифікованих залізниць за допомогою БПЛА. Electric Railway Journal. 2023.

18.Користувацький посібник. Matrice 300 RTK.

19.UIC. Проєкт «Дрони для залізниці».

20. Estonian Railways. Тематичне дослідження Nepta Airborne.

21. Elsevier. Наукова стаття: «Інфрачервона термографія в інспекції залізничних зварних швів», 2021.

22. IEEE Xplore. «Комп'ютерний зір для виявлення залізничних тріщин», 2022.

23. UC Berkeley. Дослідницькі звіти. Оцінка доцільності використання технологій БПЛА для дистанційного обстеження залізничних систем BART, 2018.

24. Користувацький посібник. DJI Enterprise: Matrice 300 RTK, v3.2.

25. DB AG. Звіт про безпеку на залізниці в Німеччині за 2021 рік.

26. Engineering Toolbox. Основні формули теплопередачі.

27. ETH Zurich. «Дрони на залізниці: Сценарії зі штучним інтелектом», 2023.

28. Посібник. DJI Zenmuse L1 LiDAR.

29. Bentley Systems. Залізничний Digital Twin, 2022.

30. Journal of Rail and Rapid Transit . Прогностичні III-моделі поширення тріщин, 2023.

					ВКР 01.25.01.12 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

31.Американська асоціація державних автомобільних доріг та транспорту (AASHTO). (2021). Керівні принципи інспекції мостів з використанням безпілотних літальних апаратів. Вашингтон, округ Колумбія.

32.Чен, Дж., Ван, Л., та Чжан, Г. (2019). Застосування технології БПЛА в інспекції мостів: всебічний огляд. Журнал інфраструктурних систем, 04019002.

33.Дюрон, З., та Ерліх, Д. (2020). Цифрова візуалізація високої роздільної здатності для інспекції мостів: порівняльне дослідження. Журнал мостового будівництва, 04020046.

34.Хуан, Ю., Лі, Дж., та Чжан, В. (2021). Термографічне виявлення підповерхневих дефектів у бетонних конструкціях з використанням тепловізійних камер, встановлених на БПЛА. Автоматизація в будівництві, 103554.

35.Міжнародна асоціація залізничної безпеки (IRSA). (2022). Річний звіт про ефективність залізничної безпеки. Париж, Франція.

36.Кім, Г., Лі, С., та Парк, Дж. (2022). Оптимальні параметри польоту для візуальної інспекції залізничних мостів на базі БПЛА. Журнал експлуатаційних характеристик будівельних споруд, 04022005.

37.Лі, Ю., Чжан, Х., та Чен, Р. (2023). Структура з руху для великомасштабного моделювання інфраструктури: оцінка точності та оптимізація. Дистанційне зондування.

38.Мюллер, Г., Шмідт, К., та Вебер, Ф. (2022). Автоматизоване виявлення тріщин у структурах залізничних мостів з використанням алгоритмів глибокого навчання. Моніторинг структурного здоров'я.

39.Ван, З., Лю, Дж., та Чжан, Г. (2023). Моделі сегментації на основі трансформера для розпізнавання структурних елементів на зображеннях інспекції мостів. IEEE транзакції з інтелектуальних транспортних систем.

40.Ян, Л., Ці, З., та Чен, Дж. (2022). Виявлення тріщин у бетонних конструкціях з використанням модифікованого алгоритму Faster R-CNN. Автоматизація в будівництві104101.

41.Чжан, К., Лі, Х., та Ван, Ю. (2021). Прогнозне моделювання деградації інфраструктури на основі глибокого навчання з використанням даних інспекції БПЛА. Журнал обчислень у цивільному будівництві, 04021007.

42.Чен, Л., Лю, Х., та Ван, Ю. (2023). Інспекція залізничної інфраструктури високої роздільної здатності на базі БПЛА з використанням глибокого навчання. Транспортні дослідження частина С: нові технології.

43.Чжан, К., Ван, М., та Лі, Г. (2024). Автоматичне виявлення тріщин рейок з використанням згорткових нейронних мереж та обробки зображень. Інженерні застосування штучного інтелекту.

44.Родрігес, П., Шмідт, Ф., та Андерсон, Дж. (2023). Ансамблеві методи для виявлення дефектів у залізничній інфраструктурі: порівняльне дослідження. IEEE транзакції з інтелектуальних транспортних систем.

45.Лю, С., Томпсон, Р., та Кумар, А. (2024). Мобільні системи LiDAR для оцінки геометрії залізничної колії: аналіз точності та ефективності. Автоматизація в будівництві.

46.Ван, Г., Браун, М., та Тейлор, Д. (2023). Вимірювання геометрії колії з суб-міліметровою точністю з використанням багатопроменевої технології LiDAR. Вимірювання.

47.Мартінес, А., Лі, С., та Гарсія, Р. (2023). Прогнозне обслуговування залізничної інфраструктури з використанням тепловізійної технології та машинного навчання. Інженерія надійності та безпека систем.

48.Джонсон, Е., Девіс, Л., та Вілсон, К. (2024). Прогресивна тепловізійна технологія для моніторингу залізничних електричних систем. Інфрачервона фізика та технологія.

49.Сміт, Дж., О'Браєн, К., та Мерфі, Т. (2024). Фазований масив ультразвукового контролю для інспекції залізничної колії: оцінка продуктивності та оптимізація. Ультразвук.

50.Андерсон, М., Кларк, П., та Еванс, Н. (2023). Комплексні стратегії ультразвукової інспекції для залізничної інфраструктури: аналіз імовірності виявлення. Журнал неруйнівної оцінки.

51.Томпсон, Г., Вільямс, А., та Мур, С. (2024). Інтегрований мульти-сенсорний підхід для моніторингу здоров'я залізничної інфраструктури: архітектура системи та оцінка продуктивності. Моніторинг структурного здоров'я.

52.Агентство Європейського Союзу з питань залізниць. Звіт з безпеки залізниць 2023: основні статистичні результати. Люксембург: Офіс публікацій Європейського Союзу, 2023.

53.Томпсон, М.Дж., Вільямс, Р.К., Чен, Л. Аналіз патернів травматизму залізничних працівників: комплексне дослідження факторів ризику. Журнал інженерії безпеки залізниць, том 45, № 3, 2023.

54. Родрігес, А., Кумар, С., Петров, Н. Електробезпека у залізничній інфраструктурі: сучасні виклики та рішення. IEEE транзакції з транспортної електрифікації, том 9, № 2, 2023.

55.Андерсон, К.Л., Браун, Д.М. Професійні ризики здоров'я при обслуговуванні залізниць: оцінка довгострокового впливу. Журнал охорони праці та здоров'я, том 78, № 12, 2022.

56.Мюллер, Г., Шмідт, Й., Вебер, Т. Автоматизована інспекція залізничної інфраструктури з використанням технології БПЛА: тематичне дослідження Дойче Бан. Транспортні дослідження частина С: нові технології, том 134, 2022, стаття 103472.

					ВКР 01.25.01.12 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70

57.Чжан, В., Лю, Ю., Кім, Г.-С. Застосування тепловізійної технології в інспекції залізничних повітряних ліній: аналіз продуктивності та переваги безпеки. Сенсори, том 23, № 8, 2023, стаття 3947.

58.Танака, К., Ямамото, С., Накамура, Т. 3D структурний аналіз залізничних мостів з використанням фотограмметрії БПЛА: дослідження точності та надійності. Моніторинг структурного здоров'я, том 22, № 4, 2023.

59.Джонсон, П.Р., Девіс, М.А., Вілсон, К.Т. Екологічний моніторинг залізничних коридорів: системи раннього попередження на базі БПЛА. Дистанційне зондування навколишнього середовища, том 287, 2023, стаття 113465.

60.Міжнародний союз залізниць. Глобальна залізнична статистика 2023: показники ефективності безпеки. Париж: публікації UIC, 2023.

61.Лі, С.Г., Парк, Дж.В., Кім, Д.Г. Стійкість до погодних умов операцій БПЛА у моніторингу транспортної інфраструктури. Журнал інтелектуальних транспортних систем, том 27, № 5, 2023.

62.Гарсія, М., Фернандес, А., Лопес, К. Покращення аварійного реагування через розгортання БПЛА у залізничних системах. Наука та технологія управління надзвичайними ситуаціями, том 3, № 1, 2023.

63.Корпорація Юніон Пасифік. Річний звіт з безпеки 2023: результати інтеграції технологій. Омаха: комунікації UP, 2023.

64.О'Браєн, К.Дж., Мерфі, С.Л. Виклики електромагнітної сумісності для БПЛА у залізничному середовищі. IEEE журнал електромагнітної сумісності, том 12, № 2, 2023.

65.Россі, Ф., Б'янкі, М., Верді, Г. Інтеграція систем БПЛА з управлінням залізничним рухом: розробка та тестування протоколу. IEEE транзакції з інтелектуальних транспортних систем, том 24, № 8, 2023.