

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Факультет «Будівництво, архітектура та інфраструктура»
(назва факультету/ННЦ)

«Транспортна інфраструктура»
(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка
до кваліфікаційної роботи
ОС «магістр»
(ступінь вищої освіти)

Тема: Дослідження системи діагностики рейкової колії відповідно до вимог інтероперабельності
Інформаційною програмою «Інтероперабельність і безпека на залізничному транспорті»

Спеціальності: 273 «Залізничний транспорт»
(шифр і назва спеціальності)

Автор: студент групи: ІН2226

Підпис: _____
(підпис студента)

Підпис: _____
(підпис)

Контролер: _____
(підпис)

/ Денис ШЕВКОПЛЯС /
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

/ доцент Іван КРАВЕЦЬ /
(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

/ зав. каф. Олексій ТЮТКІН /
(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Засвідчую, що у цій роботі немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент

_____ (підпис)

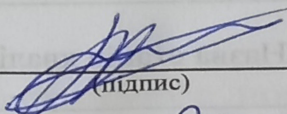
Дніпро – 2024 рік

**Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій**

Факультет: «Будівництво, архітектура та інфраструктура»
Кафедра: «Транспортна інфраструктура»
Рівень вищої освіти: «Магістр»
Освітня програма: «Інтероперабельність і безпека на залізничному транспорті»
Спеціальність: 273 «Залізничний транспорт»
(шифр та назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри
«Транспортна інфраструктура»


(підпис)

Олексій ТЮТКІН
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Дата 29.01.2023

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу

ОС «магістр»
(ступінь вищої освіти)

студенту

Шевкопляс Денис Юрійович
(Прізвище, Ім'я По батькові)

1. Тема роботи: «Дослідження системи діагностики рейкової колії відповідно до вимог інтероперабельності»

Керівник роботи: Кравець Іван Богданович, PhD
(Прізвище, Ім'я, По батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом від «28» квітня 2023 р. № 360ст

2. Строк подання студентом роботи: «15» січня 2024 р.

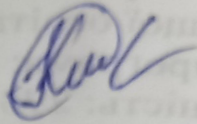
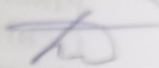
3. Вихідні дані до роботи: Результати аналізу нормативних документів та інформація з дистанції колії, а також дані, що отримані під час пошуку Internet.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно опрацювати):

Вступ. Розділ 1. Аналіз вимог нормативних документів України Європейського Союзу щодо діагностики залізничної інфраструктури. Розділ 2. Діагностика залізничної інфраструктури у країнах Європейського Союзу Розділ 3. Методи діагностики залізничної інфраструктури в Україні Розділ 4. Розробка рекомендацій щодо діагностики залізничної інфраструктури відповідно до вимог інтероперабельності. Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень Презентація за матеріалами досліджень, викладених в магістерській роботі PowerPoint, 10...12 слайдів).

6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Завдання видав: (підпис консультанта, дата)	Завдання прийняв: (підпис студента, дата)
1-4	Кравець І.Б., доцент		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітки
1	Розділ 1. Аналіз вимог нормативних документів України і Європейського Союзу щодо діагностики залізничної інфраструктури.	30.10.2023- 19.11.2023	
2	Розділ 2. Діагностика залізничної інфраструктури у країнах Європейського Союзу.	20.11.2023- 03.12.2023	
3	Розділ 3. Методи діагностики залізничної інфраструктури в Україні	04.12.2023- 24.12.2023	
4	Розділ 4. Розробка рекомендацій щодо діагностики залізничної інфраструктури відповідно до вимог інтероперабельності. Висновки. Оформлення ВКР.	25.12.2023- 07.01.2024	
	Перевірка роботи на наявність збігів текстових (літерних і цифрових) символів та графічних фрагментів. Отримання відгуку.	08.01.2024- 14.01.2024	
	Подання кваліфікаційної роботи до кафедри	15.01.2024	
	Захист кваліфікаційної роботи на засіданні Екзаменаційної комісії	Згідно з планом ЕК	

Студент

(підпис)

Денис ШЕВКОПЛЯС
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи

(підпис)

Іван КРАВЕЦЬ
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Факультет «Будівництво, архітектура та інфраструктура»
(назва факультету/ННЦ)

«Транспортна інфраструктура»
(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка
до кваліфікаційної роботи
ОС «магістр»
(ступінь вищої освіти)

на тему: Дослідження системи діагностики рейкової колії відповідно до вимог інтероперабельності

за освітньою програмою «Інтероперабельність і безпека на залізничному транспорті»

зі спеціальності: 273 «Залізничний транспорт»
(шифр і назва спеціальності)

Виконав: студент групи: ІН2226

(підпис студента)

/ Денис ШЕВКОПЛЯС /
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник:

(підпис)

/ доцент Іван КРАВЕЦЬ /
(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Нормоконтролер:

(підпис)

/ зав. каф. Олексій ТЮТКІН /
(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Засвідчую, що у цій роботі немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент

(підпис)

Ministry of Education and Science of Ukraine
Ukrainian State University of Science and Technologies

Building, architecture and infrastructure
(faculty/TRC)

Transport infrastructure
(department)

Explanatory Note
to Master's Thesis
Master
(higher education degree)

on the topic: Research of the rail track diagnostics system in accordance with interoperability requirements

according to educational curriculum Interoperability and safety in railway transport
in the Specialization: 273 Railway Transport
(Specialization and its code)

Done by the student of the group: IH2226 / Denys SHEVKOPLIAS /
(name, surname)

Scientific Supervisor: / Ivan KRAVETS /
(position, name, surname)

Normative controller : / Head of Dept. Oleksii TIUTKIN /
(position, name, surname)

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Факультет: «Будівництво, архітектура та інфраструктура»

Кафедра: «Транспортна інфраструктура»

Рівень вищої освіти: «Магістр»

Освітня програма: «Інтероперабельність і безпека на залізничному транспорті»

Спеціальність: 273 «Залізничний транспорт»

(шифр та назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

«Транспортна інфраструктура»

_____ **Олексій ТЮТЬКІН**
 (підпис) (Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

Дата _____

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу

ОС «магістр»

(ступінь вищої освіти)

студенту _____

Шевкопляс Денис Юрійович

(Прізвище, Ім'я По батькові)

1. Тема роботи: «Дослідження системи діагностики рейкової колії відповідно до вимог інтероперабельності»

Керівник роботи: Кравець Іван Богданович, PhD

(Прізвище, Ім'я, По батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом від «28» квітня 2023 р. № 360ст

2. Строк подання студентом роботи: «15» січня 2024 р.

3. Вихідні дані до роботи: Результати аналізу нормативних документів та інформація з дистанції колії, а також дані, що отримані під час пошуку в Internet.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно опрацювати):

Вступ. Розділ 1. Аналіз вимог нормативних документів України і Європейського Союзу щодо діагностики залізничної інфраструктури. Розділ 2. Діагностика залізничної інфраструктури у країнах Європейського Союзу Розділ 3. Методи діагностики залізничної інфраструктури в Україні Розділ 4. Розробка рекомендацій щодо діагностики залізничної інфраструктури відповідно до вимог інтероперабельності. Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): Презентація за матеріалами досліджень, викладених в магістерській роботі (PowerPoint, 10...12 слайдів).

6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Завдання видав: (підпис консультанта, дата)	Завдання прийняв: (підпис студента, дата)
1-4	Кравець І.Б., доцент		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Розділ 1. Аналіз вимог нормативних документів України і Європейського Союзу щодо діагностики залізничної інфраструктури.	30.10.2023-19.11.2023	
2	Розділ 2. Діагностика залізничної інфраструктури у країнах Європейського Союзу.	20.11.2023-03.12.2023	
3	Розділ 3. Методи діагностики залізничної інфраструктури в Україні	04.12.2023-24.12.2023	
4	Розділ 4. Розробка рекомендацій щодо діагностики залізничної інфраструктури відповідно до вимог інтегрованості. Висновки. Оформлення ВКР.	25.12.2023-07.01.2024	
5	Перевірка роботи на наявність збігів текстових (літерних і цифрових) символів та графічних фрагментів. Отримання відгуку.	08.01.2024-14.01.2024	
6	Подання кваліфікаційної роботи до кафедри	15.01.2024	
7	Захист кваліфікаційної роботи на засіданні Екзаменаційної комісії	Згідно з планом ЕК	

Студент

(підпис)

Денис ШЕВКОПЛЯС

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи

(підпис)

Іван КРАВЕЦЬ

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи магістра:

71 стор., 30 рис., 34 літературних джерел.

Об'єкт розробки – діагностика рейкової колії.

Мета роботи – Метою магістерської роботи є дослідження системи діагностики рейкової колії відповідно до вимог інтероперабельності.

Метод дослідження – методи діагностики рейкової колії залізничного транспорту.

В магістерській роботі виконано аналіз вимог нормативних документів України та Європейського Союзу, що стосуються проведення діагностики геометричних параметрів та стану елементів залізничної інфраструктури.

Проаналізовано вимоги до діагностики, що діють в країнах єдиного залізничного простору та приведено сучасні засоби, які використовуються при діагностиці залізничної інфраструктури та відповідають нормативам щодо сумісності для всіх країн ЄС.

Запропоновано рішення по приведенню системи діагностики залізничної інфраструктури відповідно до вимог інтероперабельності. Оскільки в Україні планується будівництво «європейської колії» (шириною 1435 мм), а наявні засоби діагностики призначені для колії шириною 1520 мм то нам слід мати діагностичні комплекси, які дозволять провадити діагностику на колії 1435 мм. А також наведено нормативні документи, що регламентують параметри яким має відповідати колійна інфраструктури з шириною колії 1435 мм.

У даній роботі такі комплекси приведено та проаналізовано їх технічні характеристики і пропонується їх застосовувати для діагностики майбутньої колійної інфраструктури з шириною колії 1435 мм.

Ключові слова: ДІАГНОСТИКА, ЗАЛІЗНИЧНА КОЛІЯ, ЗАЛІЗНИЧНИЙ ТРАНСПОРТ, ІНФРАСТРУКТУРА, ПОТОЧНЕ УТРИМАННЯ.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1 АНАЛІЗ ВИМОГ НОРМАТИВНИХ ДОКУМЕНТІВ УКРАЇНИ.....	9
І ЄВРОПЕЙСЬКОГО СОЮЗУ ЩОДО ДІАГНОСТИКИ ЗАЛІЗНИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ	9
1.1 Технічні характеристики сумісності (TSI).....	9
1.2 Залізничні пакети і їх основні складові	11
1.3 Вимоги TSI «Infrastructure» до стану колії.....	12
1.4 Вимоги нормативних документів до стану колії, що діють в Україні ...	19
1.5 Висновки до розділу 1.....	22
2 ДІАГНОСТИКА ЗАЛІЗНИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ У КРАЇНАХ ЄВРОПЕЙСЬКОГО СОЮЗУ	24
2.1 Діагностики геометрії залізничної колії.....	24
2.2 Дослідження конструкції верхньої будови залізничних колій	29
2.3 Діагностичні випробування тягової мережі	35
2.4 Діагностичні дослідження земляного полотна та його основи	36
2.5 Діагностичні поїзди для суцільного моніторингу інфраструктури залізниці	41
2.6 Висновки до розділу 2.....	45
3 МЕТОДИ ДІАГНОСТИКИ ЗАЛІЗНИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ В УКРАЇНІ.....	47
3.1 Контроль стану рейкової колії	47
3.2 Інструментальні засоби для проведення вимірювань параметрів залізничної колії	49
3.3 Методи діагностики земляного полотна	57

3.4 Висновки до розділу 3.....	59
4 РЕКОМЕНДАЦІЙ ЩОДО ДІАГНОСТИКИ ЗАЛІЗНИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ ВІДПОВІДНО ДО ВИМОГ ІНТЕРОПЕРАБЕЛЬНОСТІ.....	60
4.1 Загальні положення	60
4.2 Комплексна діагностика залізничної інфраструктури.....	60
4.3 Рекомендації щодо діагностики залізничної інфраструктури з коліями європейської ширини 1435 мм.....	62
4.4 Висновки до розділу 4.....	66
ВИСНОВКИ	67
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	69

ВСТУП

Діагностика є запорукою збереження будь якого об'єкту у працездатному стані, який забезпечує його безпечну та надійну експлуатацію. Діагностика є невід'ємною частиною процесу утримання залізничних колій. Своєчасне технічне обслуговування, окрім забезпечення безпеки та функціонально-технічної надійності об'єкта інфраструктури, знижує витрати на технічне утримання та усуває (чи суттєво зменшує) витрати, спричинені простоями внаслідок відмови або передчасного ремонту.

Актуальність теми. Діагностика залізничної інфраструктури постійно розвивається на ряду з розвитком комп'ютерних, мікропроцесорних, вимірювальних та інших галузей науки і техніки. Збільшення точності і швидкості вимірювань, комп'ютеризація, можливість запису та автоматизованого аналізу великого масиву даних щодо результатів вимірювання, створення цифрових моделей за результатами вимірювань, все це дозволяє зробити діагностику залізничної інфраструктури надійною і досить точною. На сьогоднішній день засоби діагностики залізничної інфраструктури є основою в провідних країнах ЄС та за його межами. Застосування різних мобільних засобів діагностики і їх цифризація дозволяє в режимі реального часу аналізувати та приймати певні рішення по виявлених відхиленнях в елементах залізничної інфраструктури.

Тому питання дослідження системи діагностики рейкової колії, які розглядаються у магістерській роботі є актуальними і своєчасними для їх виконання.

Для досягнення вказаної мети у магістерській роботі поставлено такі задачі досліджень:

- виконати аналіз нормативних документів щодо діагностики рейкової колії в Україні та країнах ЄС;
- виконати аналіз засобів діагностика рейкової колії;
- запропонувати рекомендації по застосуванню сучасних засобів діагностика рейкової колії.

1 АНАЛІЗ ВИМОГ НОРМАТИВНИХ ДОКУМЕНТІВ УКРАЇНИ І ЄВРОПЕЙСЬКОГО СОЮЗУ ЩОДО ДІАГНОСТИКИ ЗАЛІЗНИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

1.1 Технічні характеристики сумісності (TSI)

Технічні специфікації інтероперабельності (TSI) визначають технічні та експлуатаційні стандарти, яких необхідно дотримуватися, щоб задовольнити вимоги та забезпечити оперативну сумісність залізничної системи в Європейському Союзі [1].

Основними вимогами (рис. 1.1) є безпека, надійність і доступність, охорона здоров'я, захист навколишнього середовища, технічна сумісність і доступність [2].



Рисунок 1.1 – Основні вимоги відповідно до Директиви 797 [2]

«Інтероперабельність» - це «здатність залізничної системи забезпечувати безпечний і безперебійний рух поїздів, які досягають необхідних рівнів продуктивності» [1].

Відповідно до [1] технічна специфікація сумісності (TSI) завжди має таку структуру:

- ознайомлення з технічними та географічними рамками;
- визначення підсистеми та сфери застосування;
- істотні вимоги;
- характеристики підсистеми, зокрема функціональні та технічні характеристики підсистеми та інтерфейсів;
- складові сумісності;
- оцінка відповідності та/або придатності для використання складових і перевірка підсистеми;
- впровадження;
- додатки.

Технічні специфікації взаємодії (TSI) є обов'язковими. Додатки є повною частиною TSIs і тому також є обов'язковими (тобто юридично обов'язковими).

Європейські норми (ENs) — це стандарти, розроблені та підтримувані CEN, CENELEC та ETSI для полегшення бізнесу та усунення торгових бар'єрів для промисловості та споживачів у ЄС. Ці організації (CEN, наприклад, складається з 30 держав-членів) працюють над розробкою добровільних європейських стандартів. Ці стандарти мають унікальний статус, оскільки вони також є національними стандартами в кожній із держав-членів.

Деякі стандарти можуть бути розроблені згідно з мандатом, наданим Європейською Комісією. Ці стандарти відомі як «гармонізовані стандарти». Однак ці стандарти все ще є добровільними, навіть якщо вони підтримують нормативні акти чи директиви, але основні вимоги мають бути виконані. Якщо виробник дотримується відповідних узгоджених стандартів EN, він отримує переваги від «презумпції відповідності» відповідній істотній вимозі.

EN може бути визначений у Технічній специфікації сумісності (TSI). Оскільки TSI є обов'язковими, зазначений EN також стає обов'язковим.

Перевірка відповідності елементів залізничного колії положенням TSI

Інфраструктура зазвичай стосується компонентів сумісності. Стосовно всієї конструкції колії (поверхні) формулювання TSI є загальними і стосуються міцності (стійкості) конструкції вертикальним і горизонтальним силам: поперечним і поздовжнім відносно осі колії. Немає вказівок на моделі розрахунку або деталі щодо навантажень [3].

1.2 Залізничні пакети і їх основні складові

Що стосується законодавчої відносно залізничного транспорту у країнах ЄС то вона відображена у так званих «залізничних пакетах», які і регламентують роботу всіх складових залізничного транспорту країн ЄС.

Передумови та законодавча база і її розвиток залізничної політики ЄС представимо на рис. 1.2.

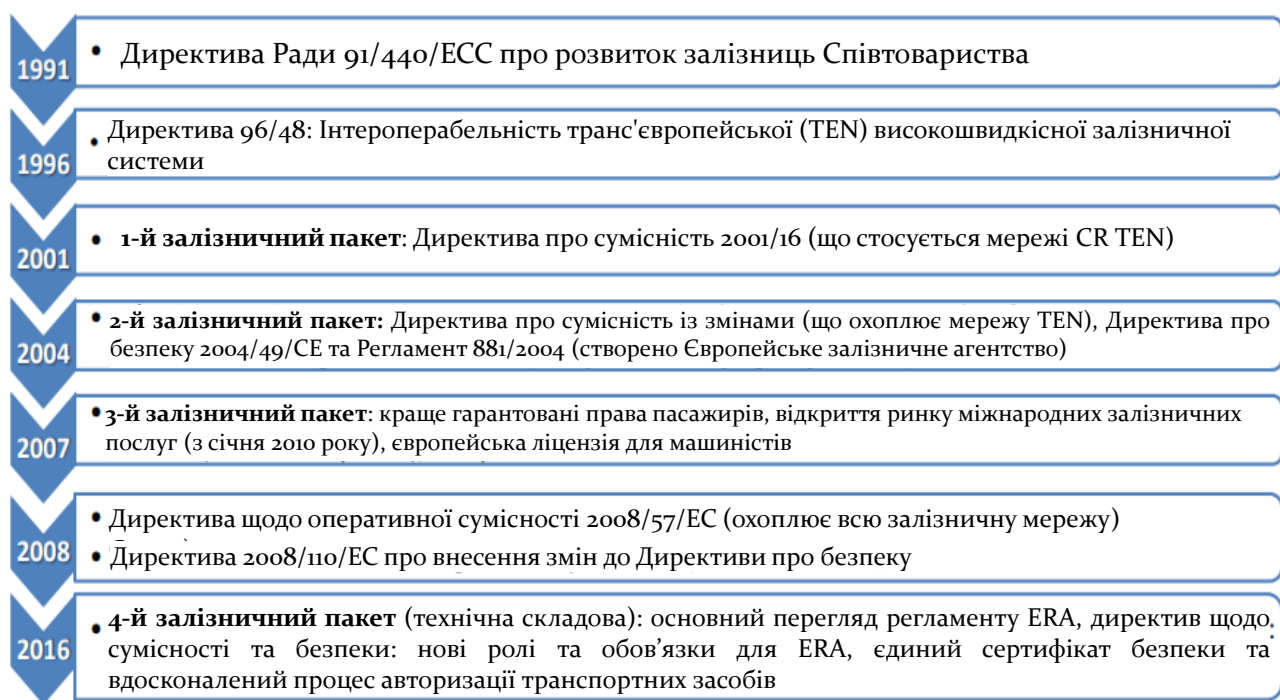


Рисунок 1.2 – Розвиток залізничної політики ЄС

В останні роки інноваційні компанії продемонстрували, що вантажні залізничні перевезення можуть працювати надійно та бути привабливими для клієнтів. Однак багато внутрішніх правил і технічних перешкод, як і раніше, заважають роботі. Залізничні перевезення потребують серйозного розвитку за

рахунок збільшення пропускної спроможності, посилення транскордонної координації та співробітництва між менеджерами залізничної інфраструктури, покращення загального управління залізничною мережею та впровадження нових технологій, таких як цифровий зв'язок та автоматизація. Комісії слід переглянути правила, що регулюють залізничні вантажні коридори та коридори базової мережі TEN-T. Інтеграція цих коридорів у «європейські транспортні коридори» з упором на «швидкі перемоги», такі як довжина поїздів, габарити навантаження та покращені експлуатаційні правила, поряд з заповненням ключових ланок, що бракують, і адаптацією основної мережі, щоб вона була повністю придатна для вантажних перевезень, дозволить посилити інфраструктурний аспект дій щодо розвитку інтермодальних перевезень.

1.3 Вимоги TSI «Infrastructure» до стану колії

Відповідно до [4] сфера застосування TSI «Infrastructure» включає наступні аспекти підсистеми інфраструктури:

- Розкладка руху;
- Параметри колії;
- Стрілочні переводи та перехрестя;
- Опір колії прикладеним навантаженням;
- Стійкість конструкцій до транспортних навантажень;
- Обмеження негайних дій щодо дефектів геометрії колії;
- Платформи;
- Здоров'я, безпека та навколишнє середовище;
- Забезпечення експлуатації;
- Стаціонарні установки для обслуговування поїздів.

Згідно п. 4.2.1 [4] “Елементи залізничної мережі Союзу викладені в пункті 1 Додатку I до Директиви (ЄС) 2016/797. З метою економічно ефективного забезпечення оперативної сумісності кожному елементу залізничної мережі Союзу призначається «категорія лінії TSI».

Категорія лінії TSI повинна бути комбінацією кодів руху. Для ліній, на яких

здійснюється лише один тип перевезень (наприклад, лінія лише для вантажних перевезень), для опису характеристик може використовуватися один код; якщо здійснюється змішаний рух, категорія буде описана одним або кількома кодами для пасажирських і вантажних перевезень. Комбіновані коди ліній описують зону, в межах якої можна розмістити бажане поєднання руху.

Ці TSI категорії ліній повинні використовуватися для класифікації існуючих ліній, щоб визначити цільову систему таким чином, щоб відповідні параметри продуктивності були виконані.

Лінії класифікуються за типом руху (кодом руху), що характеризується такими параметрами ефективності:

- тип конструкції;
- навантаження на вісь;
- швидкість лінії;
- довжина поїзда;
- корисна довжина платформи.

Значення в стовпцях «габарит конструкції» та «навантаження на вісь», які безпосередньо впливають на рух поїзда, мають бути обов'язковими мінімальними рівнями відповідно до руху. Незважаючи на вимоги TEN-T, діапазон значень, зазначений у стовпцях для «швидкості лінії», «корисної довжини платформи» та «довжини потяга», повинен застосовуватися до тих пір, поки це практично можливо.

Інформація, що визначає мінімальні вимоги до можливостей для існуючих структур у зв'язку з різними типами поїздів, наведена в Додатку Е.”

Згідно п. 4.2.2 [4] у якому приведено основні параметри, що характеризують інфраструктурну підсистему, вказано “Основними параметрами, що характеризують підсистему інфраструктури, згрупованими відповідно до аспектів, є:

А. Розкладка лінії:

- (a) Конструкційний тип (4.2.3.1),
- (b) Відстань між центрами колії (4.2.3.2),

- (c) Максимальні градієнти (4.2.3.3),
- (d) Мінімальний радіус горизонтальної кривої (4.2.3.4),
- (e) Мінімальний радіус вертикальної кривої (4.2.3.5),

Б. Параметри треку:

- (a) Номінальна ширина колії (4.2.4.1),
- (b) Ухил (4.2.4.2),
- (c) Дефіцит нахилу (4.2.4.3),
- (d) Різка зміна дефіциту нахилу (4.2.4.4),
- (e) Еквівалентна конусність (4.2.4.5),
- (f) Профіль головки рейки для рівної лінії (4.2.4.6),
- (g) Нахил рейки (4.2.4.7),

С. Стрілки та перехрестя

- (a) Розрахункова геометрія стрілочних переводів і перехресть (4.2.5.1),
- (b) Використання поворотних перехресть (4.2.5.2),
- (c) Максимальна некерована довжина фіксованих тупих перехресть (4.2.5.3),

Д. Опір колії прикладеним навантаженням

- (a) Опір колії вертикальним навантаженням (4.2.6.1),
- (b) Поздовжній опір колії (4.2.6.2),
- (c) Бічний опір колії (4.2.6.3),

Е. Стійкість конструкцій до транспортних навантажень

- (a) Стійкість нових мостів до транспортних навантажень (4.2.7.1),
- (b) Еквівалентне вертикальне навантаження для нових земляних робіт і вплив тиску на нові конструкції (4.2.7.2),
- (c) Опір нових конструкцій над коліями або поруч із ними (4.2.7.3),
- (d) Стійкість існуючих мостів і земляних споруд до транспортних навантажень (4.2.7.4),

Ф. Негайні обмеження щодо дефектів геометрії колії

- (a) Межа негайної дії для вирівнювання (4.2.8.1),
- (b) Межа негайної дії для поздовжнього рівня (4.2.8.2),
- (c) Межа негайної дії для скручування колії (4.2.8.3),

- (d) Межа нехайної дії колії як ізолюваного дефекту (4.2.8.4),
- (e) Межа нехайної дії для нахилу (4.2.8.5),
- (f) Межі нехайної дії для стрілок і перехресть (4.2.8.6),

G. Платформи

- (a) Корисна довжина платформ (4.2.9.1),
- (b) Висота платформи (4.2.9.2),
- (c) Зсув платформи (4.2.9.3),
- (d) Схема розташування колій поруч з платформами (4.2.9.4),

H. Здоров'я, безпека та навколишнє середовище

- (a) Максимальна зміна тиску в тунелях (4.2.10.1),
- (b) Вплив бокового вітру (4.2.10.2),
- (c) Аеродинамічний вплив на колію з баластом (4.2.10.3),

I. Забезпечення експлуатації

- (a) Маркери розташування (4.2.11.1),
- (b) Еквівалентна конусність в експлуатації (4.2.11.2)

J. Стационарні установки для обслуговування поїздів

- (a) Загальні положення (4.2.12.1),
- (b) Злив туалету (4.2.12.2),
- (c) Засоби для зовнішнього прибирання поїзда (4.2.12.3),
- (d) Поповнення запасів води (4.2.12.4),
- (e) Заправка (4.2.12.5),
- (f) Електропостачання (4.2.12.6),

K. Правила технічного обслуговування

- (a) Файл технічного обслуговування (4.5.1),
- (b) План технічного обслуговування (4.5.2).”

Згідно п. 4.2.2.2 [4] “Вимоги до основних параметрів:

(1) Ці вимоги описані в наступних параграфах разом із будь-якими конкретними умовами, які можуть бути дозволені в кожному випадку для відповідних основних параметрів та інтерфейсів.

(2) Зазначені значення основних параметрів дійсні лише до максимальної

швидкості на лінії 350 км/год.

(3) Для Ірландії та Сполученого Королівства стосовно мережі Північної Ірландії вказані значення основних параметрів дійсні лише до максимальної швидкості на лінії 165 км/год.

(4) У випадку багаторейкової колії вимоги цієї TSI слід застосовувати окремо до кожної пари рейок, призначених для експлуатації як окремої колії.

(5) Вимоги до рядків, що представляють окремі випадки, описані в пункті 7.7.

(6) Допускається коротка ділянка колії з пристроями для переходу між різними номінальними ширинами колії.

(7) Вимоги описані до підсистеми за нормальних умов експлуатації. Наслідки, якщо такі є, виконання робіт, які можуть вимагати тимчасових винятків, що стосується продуктивності підсистеми, розглядаються в пункті 4.4.

(8) Рівні продуктивності поїздів можна підвищити шляхом застосування спеціальних систем, таких як система нахилу кузова транспортного засобу. Для руху таких поїздів допускаються особливі умови, якщо вони не тягнуть за собою обмежень для інших поїздів, не обладнаних такими системами.

4.2.3.2. Відстань між центрами колій

(1) Відстань між центрами колій повинна бути встановлена на основі колії, обраної відповідно до пункту 4.2.1.

(2) Номінальна горизонтальна відстань між осями колій для нових ліній повинна бути визначена проектом і не повинна бути меншою за значення з таблиці 4; він враховує запаси для аеродинамічних ефектів.

Таблиця 4 [4]

Мінімальна номінальна горизонтальна відстань між центрами колії

Максимально дозволена швидкість [км/год]	Мінімальна номінальна горизонтальна відстань між центрами колії [м]
$160 < v \leq 200$	3,80
$200 < v \leq 250$	4,00
$250 < v \leq 300$	4,20
$v > 300$	4,50

Замість пунктів (1) - (3), для системи колії 1520 мм, номінальна горизонтальна відстань між центрами колії повинна бути визначена для конструкції та не повинна бути меншою за значення з Таблиці 5; він враховує запаси для аеродинамічних ефектів.

Таблиця 5 [4]

Мінімальна номінальна горизонтальна відстань між центрами колії для системи колії 1520 мм

Максимально дозволена швидкість [км/год]	Мінімальна номінальна горизонтальна відстань між центрами колії [м]
$v \leq 160$	4,10
$160 < v \leq 200$	4,30
$200 < v \leq 250$	4,50
$v > 250$	4,70

”

Пункт 4.2.8 [4] містить параметри, по всіх елементах та геометрії колії, за межами яких експлуатація залізничної інфраструктури є забороненою. А саме, відповідно до [4] “4.2.8.1. Межа негайної дії для вирівнювання

(1) Обмеження негайної дії для ізолюваних дефектів вирівнювання викладені в специфікації, на яку посилаються в Додатку Т, Індекс [12]. Ізолювані дефекти не повинні виходити за межі діапазону довжин хвиль D1.

(2) Обмеження негайної дії для ізолюваних дефектів вирівнювання для швидкостей понад 300 км/год є відкритим питанням.

4.2.8.2. Межа негайної дії для поздовжнього рівня

(1) Обмеження негайної дії для ізолюваних дефектів поздовжнього рівня викладені в специфікації, на яку посилаються в Додатку Т, Індекс [12]. Ізолювані дефекти не повинні виходити за межі діапазону довжин хвиль D1.

(2) Безпосередні межі дії для ізолюваних дефектів у поздовжньому рівні для швидкостей понад 300 км/год є відкритим питанням.

4.2.8.3. Негайна межа дії для перекосу колії

(1) Межа негайної дії для перекосів в колії як ізолюваного дефекту надається як значення від нуля до максимального. Перекоси колії викладено в специфікації, на яку посилаються в Додатку Т, Індекс [13].

(2) Обмеження перекосів колії є функцією вимірювальної бази, застосованої

відповідно до специфікації, на яку посилається в Додатку Т, Індекс [12].

(3) Менеджер інфраструктури повинен визначити в плані технічного обслуговування базову довжину, на якій він вимірюватиме колію, щоб перевірити відповідність цій вимозі. Основна довжина вимірювання повинна включати принаймні одну основу від 2 до 5 м.

(4) Замість пунктів (1) і (2), для системи колії 1520 мм крутизна колії для базової довжини 10 м повинна бути не більше ніж:

(a) 16 мм для пасажирських ліній з $v > 120$ км/год або вантажних ліній з $v > 80$ км/год;

(b) 20 мм для пасажирських ліній з $v \leq 120$ км/год або вантажних ліній з $v \leq 80$ км/год

(5) Замість пункту (3), для системи колії 1520 мм Менеджер інфраструктури повинен зазначити в плані технічного обслуговування базову довжину, на якій він вимірюватиме колію, щоб перевірити відповідність цій вимозі. Основна довжина вимірювання повинна включати принаймні одну основу 10 м.”

Відповідно до [4] “4.2.8.4. Граничні значення ширини колії як ізолюваного дефекту

(1) Безпосередні межі впливу ширини колії як ізолюваного дефекту наведені в таблиці 12.

для колії шириною 1435 мм

Таблиця 12 [4]

Швидкість [км/год]	Розміри [мм]	
	Мінімальна ширина колії	Максимальна ширина колії
$v \leq 120$	1 426	1 470
$120 < v \leq 160$	1 427	1 470
$160 < v \leq 230$	1 428	1 463
$v > 230$	1 430	1 463

для колії шириною 1520 мм

Таблиця 13 [4]

Швидкість [км/год]	Розміри [мм]	
	Мінімальна ширина колії	Максимальна ширина колії
$v \leq 140$	1 512	1 548
$v > 140$	1 512	1 536

Керуючись пунктами TSI [4] а також Додатку Т в якому містяться технічні специфікації, на які є посилання в TSI, тобто параметри яким повинна відповідати залізнична інфраструктура є описані в різних стандартах. Якщо в даному TSI є посилання наприклад на EN то слід забезпечити безумовне дотримання викладеного у цьому документі (EN).

Що стосується діагностики залізничної колії то в TSI є посилання на:

- EN 15273-3:2013+A1:2016 [5] – у якому приведені значення габаритів конструкцій (ширина колії, висота, віжстань між осями колій);
- EN 13803:2017 [6] – у якому приведені значення радіусів кривих та підвищення рейкової колії;
- EN 13848-5:2017 [7] – у якому приведені вимоги до конструкції стрілочних переводів та перетинів;
- EN 13848-1:2019 [8] – у якому приведені вимоги щодо характеристик геометрії колії.

Отже всі параметри, що контролюються при діагностиці залізничних колій мають відповідати цим нормативним документам [5-8].

1.4 Вимоги нормативних документів до стану колії, що діють в Україні

Відповідно до пункту 4.1.1. Інструкції [9] “Завданням поточного утримання залізничної колії є систематичний нагляд за комплексом споруд колії та колійних пристроїв; забезпечення справного стану колії та утримання її в межах встановлених норм і допусків, при яких гарантується безпечний та безперебійний рух поїздів зі встановленими швидкостями; забезпечення

тривалих термінів служби всіх елементів колії; вивчення причин та попередження появи несправностей, своєчасне їх усунення та ліквідація причин, що сприяють появі несправностей колії та споруд.

Відповідно до пункту 4.2.1. Інструкції [9] “В організацію робіт із поточного утримання колії входять:

а) перевірка стану колії, штучних споруд, земляного полотна та колійних пристроїв;

б) планування робіт з усунення виявлених при перевірці несправностей і причин, що спричиняють їх появу;

в) виконання і облік цих робіт, оцінка якісного стану колії.”

Для забезпечення неперервного та безпечного руху поїздів і проведення маневрів, необхідно регулярно та детально перевіряти стан колії, споруд, земляного полотна та колійних пристроїв на перегонах і станціях. При проведенні оглядів та перевірок особлива увага повинна бути приділена стану рейок, рейкових стиків, скріплень, стрілочних переводів, глухих пересічень, кривих ділянок колії, включаючи захрестовинні криві, нестійких ділянок земляного полотна, колії на мостах і в тунелях, а також на підходах до них, переїздів та інших пристроїв [9].

Під час оглядів та перевірок важливо оцінювати міцність і стійкість колії, земляного полотна, колійних пристроїв, перевіряти відповідність їхнього стану встановленим нормам, виявляти знос і взаємодію окремих елементів. Також необхідно визначати причини несправностей, визначати види та обсяги робіт, необхідних для усунення та попередження несправностей, встановлювати терміни виконання цих робіт, а також визначати обсяги та якість виконаних робіт, а також проводити оцінку стану колії [9].

Крім натурних оглядів та промірів колій, кожного місяця колія повинна перевірятися колієвимірювальними вагонами згідно вимог [10, 11].

Відповідно до пункту 4.5.3. Інструкції [9] “Головні та приймально-відправні колії та стрілочні переводи на них вважаються у справному стані при дотриманні таких умов:

- а) відсутність у колії гостродефектних рейок;
- б) відсутність у колії кушів непридатних шпал, що потребують обмеження швидкості порівняно зі встановленою;
- в) у колії не існує жодного відступу чи їх сполучень, через які вимагається обмежувати швидкість руху поїздів чи повністю спиняти рух (додаток 8);
- г) колія закріплена від угону;
- д) баластна призма утримується за встановленими розмірами та у чистоті;
- є) стрілочні переводи та глухі пересічення утримуються відповідно до вимог ПТЕ, встановлених норм і допусків та при відсутності гостродефектних елементів;
- ж) рейкові стики, стикові та проміжні скріплення, рейкові з'єднувачі утримуються у справному стані, немає виплесків та шпал у стиках, які не щільно опираються на баласт;
- з) узбіччя земляного полотна, кювети, лотки, нагірні канали та інші водовідводи утримуються у чистоті, забезпечують нормальний відтік води;
- і) мостове полотно, прогонові споруди, опори, конуси, русла та протипожежні засоби на штучних спорудах, нагляд за якими доручений бригадам із поточного утримання колії, перебувають у справному стані;
- к) залізничні переїзди, підходи, настил, огорожі, основні та запасні шлагбауми, сигнальні знаки та освітлення справні;
- л) сигнальні та колійні знаки у порядку;
- м) матеріали зберігаються у встановлених місцях і після закінчення робіт прибираються вчасно.

При дотриманні перелічених умов колія вважається утримуваною відповідно у відмінному, доброму, задовільному чи незадовільному стані при оцінці в балах за показаннями вагона-колієвимірника, зазначеними в табл. 4.2.

Таблиця 4.2 [9]

Якісна оцінка стану колії

Оцінка якості стану колії	Сума балів ¹ за всі відступи на 1 км			
	для колії з непростроченою модернізацією (капітальним ремонтом)	для колії з простроченою модернізацією (капітальним ремонтом) або перекладеними рейками	для головної колії з встановленою швидкістю руху поїздів 60 км/годі менше	для прийнятно-відправних колій ² зі швидкістю руху поїздів 40 км/годі менше
"Відмінно"	0-40	0-70	0-100	0-250
"Добре"	41-100	71-140	101-150	251-500
"Задовільно"	101-500	141-500	151-500	501-800
"Незадовільно"	501 і більше	501 і більше	501 і більше	801 і більше

Примітки: 1. Бали, згідно з «Технічними вказівками щодо оцінки стану рейкової колії за показаннями колієвимірjuвальних вагонів та забезпечення безпеки руху поїздів при відступах від норм утримання рейкової колії», нараховуються за кожний відступ від допусків утримання рейкової колії, залежно від ступеня їх впливу на динаміку взаємодії колії та рухомого складу, а також на безпеку руху поїздів.
2. Прийнятно-відправні колії з встановленою швидкістю руху поїздів понад 40 км/год. до 60 км/год. (включно) оцінюються за даними четвертого, а при швидкості понад 60 км/год. – за даними третього стовпця.

”

Згідно вимогам пункту 3.1 Правил [11] „Усі елементи залізничної колії (земляне полотно, верхня будова та штучні споруди) за міцністю, стійкістю і станом мають забезпечувати безпечний і плавний рух поїздів із швидкостями, встановленими на даній ділянці”.

1.5 Висновки до розділу 1

У результаті проведеного аналізу отримано наступні висновки:

1. Технічні специфікації інтероперабельності (TSI) визначають технічні та експлуатаційні стандарти для забезпечення сумісності залізничної системи в Європейському Союзі. TSI є обов’язковими до виконання, а також їх Додатки (тобто юридично обов’язковими).

2. Європейські норми (ENs) - це стандарти, розроблені та підтримувані CEN, CENELEC та ETSI для усунення різних бар’єрів для промисловості та споживачів у ЄС. Дані стандарти є національними (добровільними) в кожній із держав-членів. Проте, якщо пункти EN приведені у TSI то вони є обов’язковими до виконання, тобто зазначений EN також стає обов’язковим.

3. В Україні система діагностики залізничної інфраструктури регламентується відповідно до ПТЕ [11] та Інструкції ЦП0269 [9] у яких по кожному елементу чи системі є посилання на відповідний документ, що регламентує процедуру діагностики, огляду і т. д.

2 ДІАГНОСТИКА ЗАЛІЗНИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ У КРАЇНАХ ЄВРОПЕЙСЬКОГО СОЮЗУ

2.1 Діагностики геометрії залізничної колії

Розглянемо для прикладу DB Netz AG, який є менеджером залізничної інфраструктури Deutsche Bahn AG, відповідальним за залізничну мережу протяжністю 33 423 км, яка включає 66 071 стрілочних переводів, 13 736 дорожніх переїздів, 745 тунелів загальною довжиною 592,9 км і 25 149 залізничних мостів [12, 13]. Головним завданням менеджера є забезпечення понад 420 залізничних компаній «високоякісною інфраструктурою без обмежень у доступності та управління її функціонуванням» [12]. Що включає в себе створення та затвердження графіків обстеження залізниць і вимірювань у взаємодії з клієнтами. Крім того, відбувається подальший розвиток залізничної інфраструктури шляхом інвестування в існуючу мережу, у сучасні технології управління рухом і безпеку транспорту, а також у нові та модернізовані лінії.

З недостатність діагностики інфраструктури, залізниці Німеччини, зіткнулися у 50-х роках минулого століття, оскільки тоді інтенсивно зростала щільність залізничної мережі. Збільшення об'ємів руху поїздів виключало тривалі перерви в обслуговуванні, пов'язані з вимірюванням колії та спостереженням. При цьому вимагалось збільшення швидкості руху поїздів, а у вантажному транспорті спостерігалось збільшення ваги вагонів і цілих поїздів. Для цього потрібно було забезпечити точне обслуговування колії та необхідну діагностику елементів та параметрів залізничної інфраструктури.

Відповідно до [12, 13] кожен діагностичний процес складається з чотирьох основних елементів:

- візуальний огляд, випробування та вимірювання,
- аналіз, оцінка та інтерпретація результатів,
- розробка висновків та рекомендацій з експлуатації та обслуговування,
- реєстрація та архівація результатів вимірювань.

Методи діагностичних випробувань повинні прямо чи опосередковано забезпечувати можливість визначення умов експлуатації залізничних колій: допустимої швидкості, навантаження на вісь, габариту конструкції, допустимої маси поїзда та допустимого навантаження.

Безпека та плавність перевезень, а також діагностика залізничних доріг на німецьких залізницях є одними з найважливіших цілей DB Netz AG [13].

В загальному, діагностика – це сукупність методів і засобів, що використовуються для визначення стану об'єкта дослідження. Існують дві тенденції розвитку діагностики, перша – конструювання все більш досконалих приладів, багатосистемних вимірювальних апаратів і цілих вимірювальних поїздів. Друга тенденція, яка є предметом інтересу багатьох дослідницьких центрів, це пошук нових методів оцінки стану залізничної інфраструктури. Ці інтереси обумовлені тим, що від результатів діагностичних досліджень залізничної інфраструктури, в тому числі ретельності його оцінки, залежить не тільки безпека руху, але й місце, час і обсяг необхідних ремонтних робіт, що суттєво впливає на вартість утримання та експлуатації.

Результати діагностичних досліджень є основою для прийняття рішень щодо [13]:

- висновок про постійні або періодичні зміни технічних та експлуатаційних параметрів колії (місцеві обмеження швидкості, зміни допустимих навантажень на вісь тощо),
- визначення виду, обсягу, місця та терміну ремонту,
- зміни термінів та обсягу систематично проведених діагностичних досліджень,
- залишити колію у відповідній категорії.

В даний час DB Netz AG найчастіше використовує для вимірювання залізничних доріг та прилеглої інфраструктури багатофункціональні транспортні засоби, які виконують такі діагностичні завдання [12]:

- вимірювання геометричних параметрів залізничної дороги,
- діагностичні випробування залізничних колій,

- вимірювання та випробування повітряної контактної лінії,
- вимірювання та випробування на високошвидкісних лініях,
- вимірювання профілю поверхні катання та зносу рейок,
- вимірювання розміру конструкції та його обмеження.

Геометричне планування залізничної колії є просторовим. З цієї причини його розглядають на трьох рівнях [13]:

- вертикальний (часто званий поздовжнім профілем, який виділяє ділянки колії з рівномірним нахилом, а також вертикальні криві поздовжнього профілю),
- горизонтальний - план місцевості, в якому основними елементами системи є прямі ділянки колії, криві ділянки та ділянки в кривих зі змінною кривизною (так звані перехідні криві); існує також т. зв. прямі вставки, тобто короткі прямі ділянки колії, розміщені між двома перехідними кривими або двома круговими кривими,
- поперечний до осі колії, також називається поперечним перерізом, що розрізняє ширину колії і різницю висот рейкових колій, яка є постійною по довжині кривої і називається перевищенням.

Оцінка стану колії здійснюється на підставі результатів, отриманих під час вимірювань багатьох параметрів положення колії.

Важливими параметрами є ширина колії та її ухил, відхилення, горизонтальні та вертикальні нерівності рейкових колій, а також різниця їх висоти. Положення колії в горизонтальній і вертикальній площинах, величини зазорів у стиках рейок у стиковій колії або величини зміщень рейкової колії в безстиківій колії відносно «маячних» шпал.

У Німеччині у 1960-х роках було розроблено вимірювальну машину, яка виконувала вимірювання шляхом сканування слідів. Лише в 1975 році німецькі залізниці використовували для вимірювань п'ять діагностичних вагонів і застосовувалися для запису геометрії стану колії та використовувалися на німецьких залізничних лініях. [13].

Варто підкреслити, що тоді були розроблені єдині критерії оцінки

вимірюваних значень. Вимірювання полягало в дослідженні положення рейок одна відносно одної та геометричного розташування колії. В даний час такі вимірювання проводяться за допомогою лазерних оптичних приладів. У Мюнхені був побудований вимірювальний блок VS 726 з власним приводом і причіпним вагоном (рис. 2.1), який використовувався на деяких лініях до 2015 року.



Рисунок 2.1 – Загальний вигляд вимірювального вагону VS 726 [13]

З 2014 року компанія Plasser&Theurer поставила DB Netzinstandhaltung нові діагностичні вагони 725/726 101 (GMTZ 006), для вимірювання геометрії колії (рис. 2.2). Також, для перевірки геометрії колії в Німеччині застосовуються діагностичні вагони типу VT 702 201 та 719/720 301 (рис. 2.3).

Слід зазначити, що транспортні засоби, які зараз використовуються для вимірювання геометрії колії, є багатофункціональними засобами, а також використовуються для вимірювання та випробування інших компонентів інфраструктури, таких як повітряна (електрична) контактна лінія.

Протягом тривалого часу для перевірки геометричного стану колії німецькі залізниці також використовували колієвимірювальні вагони RAILab (рис. 2.4). Вимірювання можна проводити на високошвидкісних лініях з максимальною швидкістю 200 км/год, включаючи: за допомогою лазерних приладів.



Рисунок 2.2 – Загальний вигляд діагностичного поїзда 726 101 (GMTZ 006)
[13]



Рисунок 2.3 – Загальний вигляд діагностичного поїзда 702 201 [13]



Рисунок 2.4 – Колієвимірjuвальні вагони RAILab [14]

2.2 Дослідження конструкції верхньої будови залізничних колій

Діагностичні дослідження верхньої будови включають оцінку технічного стану рейок, шпал і баласту. Протягом багатьох років Deutsche Bahn AG проводить ультразвукові випробування рейок, щоб виявити внутрішні пошкодження, які можуть загрожувати безпеці руху поїздів. Крім ручних випробувань, випробування в основному проводяться за допомогою засобів вимірjувальної техніки, які виконують механізовані та напівавтоматичні ультразвукові інструменти. Пошкодження рейок можуть бути викликані дефектами їх виготовлення і різного роду напружень, що виникають в процесі експлуатації, особливо на граничних термінах служби. Існує багато дефектів, таких як: неоднорідність структури (неметалеві включення), поздовжні дефекти (дефекти, що утворюються при прокатці), поперечні дефекти і тріщини (розриви в структурі), дефекти зварювання і втомні тріщини. Невеликі тріщини, які найчастіше виникають у більшій кількості на верхньому внутрішньому

радіусі головки рейки, фіксуються під час перевірки за допомогою додаткового дослідження вихровими струмами, оскільки їх неможливо надійно виявити за допомогою ультразвуку.

Крім виявлення внутрішніх дефектів, діагностика рейок пов'язана з вимірюванням зовнішніх дефектів і пошкоджень: вертикального і бокового зносу, кута зносу головки рейки, хвилеподібного зносу поверхні катання, виявлення втомних дефектів, які можуть призвести до розтріскування рейки.

Щоб уникнути впливу структурних дефектів, надмірного зносу пошкоджень, які можуть вплинути на безпеку руху поїздів, рейки перевіряються через регулярні проміжки часу відповідно до вказівок DB RIL 821 [13].

Залежно від максимально допустимої швидкості руху на лінії випробування проводяться з інтервалом від чотирьох до тридцяти місяців. Рейки на швидкісних лініях перевіряють кожні 4 місяці. У регламенті також згадується кілька ліній високошвидкісної залізниці, на яких кожні півроку проводять вимірювання. Регулярні перевірки ліній, на яких курсують поїзди S-Bahn, також необхідні через високу частоту їх роботи.

DB Netz AG використовує різні транспортні засоби для вимірювання елементів верхньої будови колії колії. Спочатку поверхню перевіряли та діагностували в основному за допомогою діагностичних комплексів серії 725/726 (рис. 2.2), але з часом і більш високими допустимими швидкостями знадобилися більш сучасні та точні засоби вимірювання колії.

У 1975 році Федеральна залізниця Німеччини замовила транспортний засіб для вимірювання колії серії 719 001 (рис. 2.5), також відомий як поїзд Rail Test Express, що дає змогу вимірювати на швидкості 50 км/год. У 1995 році був спроектований ще один вимірювальний поїзд серії 719 (рис. 2.6). Транспортний засіб складається з трьох вагонів і може проводити вимірювання на швидкості до 70 км/год. Візок для вимірювань, розташований по середині середнього вагона, має датчики, встановлені під різними кутами, які можуть виявляти та записувати за допомогою камери навіть невеликі нерівності колії. Будь-які

нерівності, пов'язані з рейками та рейковими з'єднаннями, розпізнаються та вимірюються автоматично [13].



Рисунок 2.5 – Колієвимірювальні поїзд серії 719 001 (Rail Test Express) [13]



Рисунок 2.6 – Колієвимірювальні поїзд поїзд серії 719 [15]

Обладнання для аналізу результатів ультразвукових випробувань в діагностичному поїзді DB Netz AG показано на рис. 2.7. Для забезпечення швидкого виявлення відхилень з привязкою до пікетажу лінії, положення перед початком пробного запуску калібрують положення.



Рисунок 2.7 – Обладнання колісвимірального поїзду серії 719 [13]

Зростання зареєстрованих пошкоджень рейок зумовило пошук сучасних методів їх дослідження та вимірювання. Це було досягнуто шляхом поєднання техніки дефектоскопії з вихрострумовою технікою. Також привязку здійснюють за допомогою GPS-координат. Для попереднього відбору цих результатів використовується штучна нейронна мережа. Через кожні 1000 м сигнали обробляються в режимі реального часу і мережа розділяє їх на 4 групи - з першим ОК і трьома типами несправностей [13].

На рис. 2.8 зображено фрагмент пристрою, який виконує вихрострумний контроль рейок, а на рис. 2.9 – ультразвуковий контроль рейок. Під час випробування вихровими струмами верхній шар рейки товщиною 3 мм невидимий для обладнання.

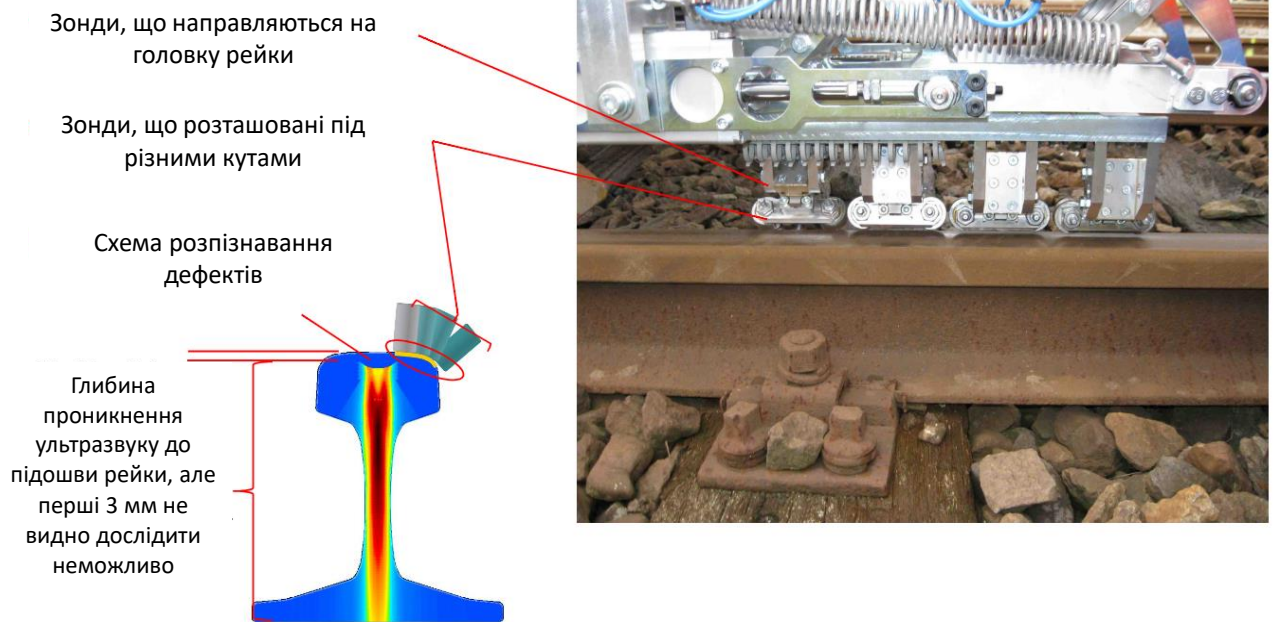


Рисунок 2.8 – Схема вихрострумового контролю рейок [16]

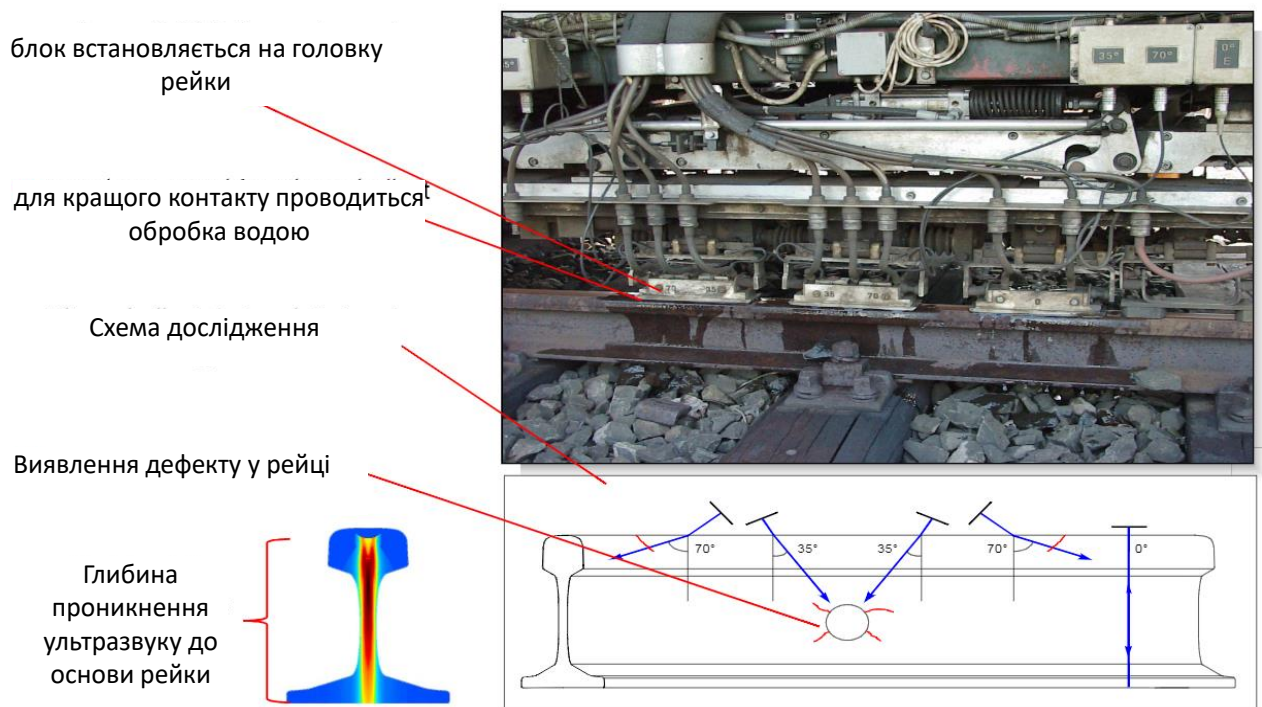


Рисунок 2.9 – Схема ультразвукового контролю рейок [16]

Крім дефектів у структурі матеріалу рейок, непомітних без використання вимірювальних приладів, існують дефекти, викликані взаємодією колеса з рейкою. За даними [17], до найпоширеніших дефектів поверхні катання рейки належать:

- виїмки (вибуксування);
- западини (присідання);
- подряпини (на головці рейки від коліс);
- невеликі хвилі на головці рейки;
- пластинчасте відшарування (лущення) на внутрішній поверхні головки рейки;
- технологічні дефекти, в тому числі дефекти зварних стиків.

Приклад вимірювання зносу головки рейки шляхом оцінки записів лінійного лазерного профілю вздовж і впоперек рейки, що дозволяє аналізувати відеозображення, показано на рис. 2.10.

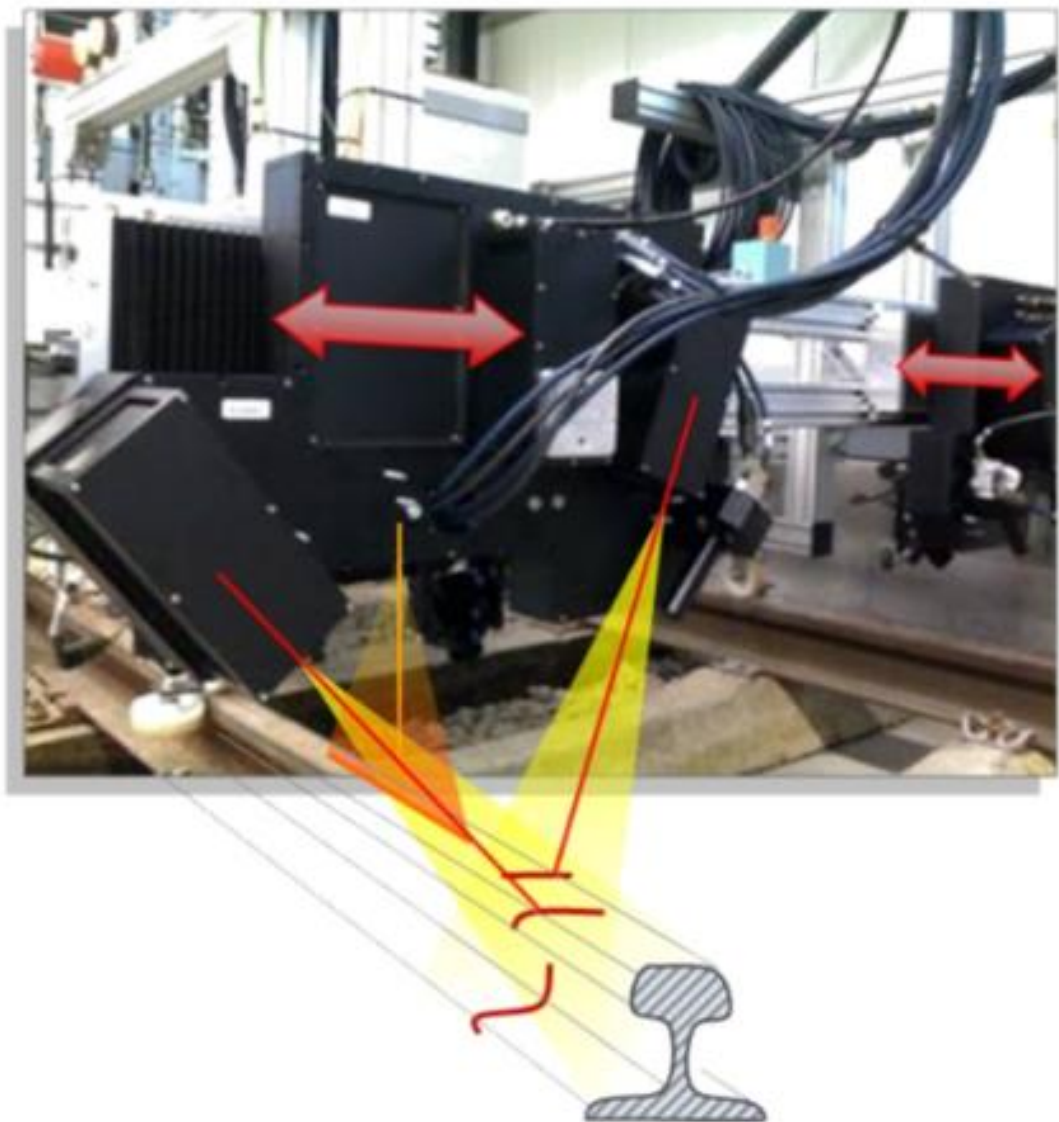


Рисунок 2.10 – Схема контролю профілю рейок за допомогою лазерів [16]

2.3 Діагностичні випробування тягової мережі

У 1950-х роках мережа залізниць Deutsche Bundesbahn була електрифікована швидкими темпами. Це створило потребу в транспортних засобах нового типу, які б використовувалися для встановлення та обслуговування контактної лінії.

На сьогодні у діагностику тягової мережі німецьких залізниць виконують діагностичним комплексом серії 720, який також дозволяє вимірювати геометричне стан колій та перевіряти елементи верхньої будови колії та тягову мережу, на рис. 2.11 зображено цей поїзд.



Рисунок 2.11 – Діагностичний комплекс серії 720 [13]

Схема за якою проводяться дослідження контактної мережі приведена на рис. 2.12.

Функціональні випробування контактної мережі проводяться за допомогою датчиків, технології вимірювання на пантографі та відеозображень, датчики контролю розташовані на пантографі – для визначення бічного положення контактного дроту (рис. 2.12 *a, b*) технологія вимірювання на пантографі - сили між пантографом і контактом провід (рис. 2.12 *f*) - товщина контактного дроту (рис. 2.12 *e*) - висота контактного дроту (електричний або оптичний, рис. 2.12 *c*) Ручні оцінки відеозображень - положення бічного тримача (рис. 2.12 *c*) датчики вильоту технологія вимірювання товщини контактного дроту принцип вимірювання контактний провід вимірювання товщини затінення лазерного

світла відповідно до зносу контактного дроту камери.

3 Prinzip der Oberleitungsfunktionsprüfungen

- **Auflaufsensoren am Stromabnehmer**
 - Seitenlage des Fahrdrabtes (F1, F2)
- **Messtechnik am Stromabnehmer**
 - Kräfte zwischen Stromabnehmer und Fahrdrabt (F6)
 - Fahrdrabtstärke (optisch, F5)
 - Fahrdrabthöhe (elektrisch oder optisch, F3)
- **Manuelle Bewertungen von Videobildern**
 - Lage des Seitenhalter (F2)

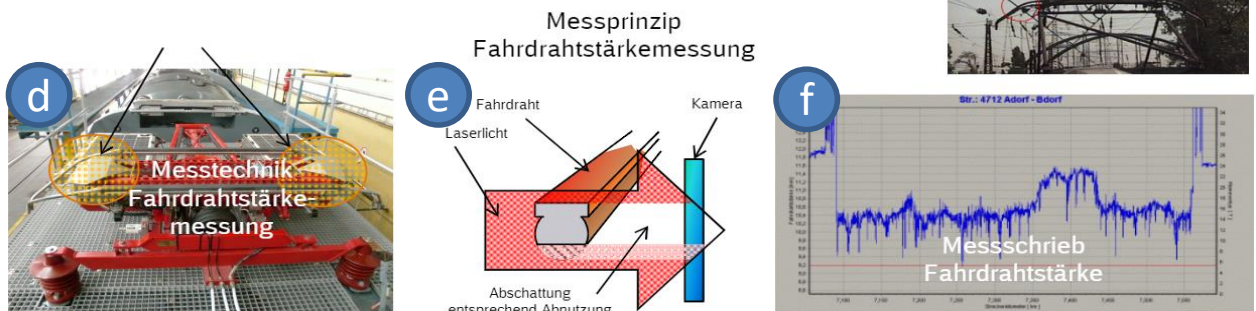


Рисунок 2.12 – Схема функціональних випробувань контактної мережі [16]

Дані діагностичні поїзди порівняно з попередніми видами є модифіковані, щоб уникнути впливу на результати вимірювання вібрації вагону під час руху. Ці вимірювальні засоби характеризуються високою точністю вимірювання: оскільки використовують лазерні пристрої та високоточні датчики.

2.4 Діагностичні дослідження земляного полотна та його основи

У рамках вимірювальних робіт використовуються методи і засоби визначення значень експлуатаційних параметрів елементів нижньої будови колії за їх поточним технічним станом і прогнозування стану за умовами експлуатації в різних умовах навколишнього середовища.

Використовуються як класичні, так і найсучасніші вимірювальні прилади. У країнах ЄС популяризували систему GPS-вимірів у поєднанні з вимірюванням геометрії залізничних колій і георадарним методом визначення стану колії.

Економічні ефекти автоматизації виражаються у підвищенні продуктивності праці, зниженні власних витрат, підвищенні якості продукції, точності вимірювань і збільшенні доходу даного підприємства, а отже, і доходу держави.

Технічні працівники підприємств, які відповідають за технічний стан залізничних колій, вимагають економної, точної та швидкої оцінки стану полотна, а також створення бази даних про конструкції та технічні параметри колії та її земляного полотна. Проведення георадарних досліджень є одним із найкращих та найшвидших методів діагностики залізничних колій, особливо під час їх модернізації.

Безпечна експлуатація залізничних колій також пов'язана з належною якістю земляного полотна та основи земляного полотна. Інформацію про технічний стан цих конструкцій дають георадарні дослідження, які показують товщину насипу та захисних шарів, а також їх структуру.

Георадарна система GPR (Ground Penetrating Radar) забезпечує виявлення дефектів земляного полотна: баластних кишень, просідань укосів насипів і виїмок, перезволоження ґрунтів, просідань насипів на слабкому ґрунті та в місцях проведення гірничих робіт. Безконтактні георадарні дослідження дозволяють і забезпечують отримання інформації про стан і структуру полотна колії та його земляного полотна за короткий час, не впливаючи на залізничну інфраструктуру чи розклади руху поїздів [18].

Інтеграція методу георадара, технології GPS і вимірювальних дрезин дозволяє отримувати інформацію не тільки про геометрію колії в горизонтальній і вертикальній площинах, а й інформацію про стан і структуру полотна і його земляного полотна під час одного проходу системи вимірювання. Використання такого вимірювального рішення є значним доповненням як до вимірювань геометрії колії (залізничні лінії), так і до традиційних геотехнічних досліджень, таких як буріння або зондування.

Правильно обладнана вимірювальна система з лазерним сканером також дозволяє отримувати інформацію про стан залізничної інфраструктури вздовж маршруту, що підлягає вимірюванню, у вигляді масиву (хмари) точок.

Неруйнівні георадарні дослідження дозволяють оперативно отримати інформацію про стан земляного полотна та його основи. Інтегрувати такі вимірювання можна як з вимірювальними візками, наприклад EM-120, EM-SAT

120, UFM120, так і з іншими залізничними транспортними засобами (рис. 2.13).



a



b



c



d

Рисунок 2.13 – Георадарні зйомки з вимірювальною системою [18]: *a* - EM-SAT в Німеччині; *b* - в Бразилії; *c* – в Азії; *d* - UFM120 Eurailscout в Турції.

У статті [18] представлено та описано систему SafeRailSystem (SRS), яка є георадаром, призначеним для виконання безперервних геотехнічних вимірювань стану колій. Також у роботі [18] представлено сучасні технології інтеграції вимірювань, що використовуються для безперервного моніторингу стану залізничної інфраструктури, необхідного для належного управління. Він включає відповідні послідовності, такі як: планування, організація, виконання та контроль.

Результатом георадарної зйомки є структурне зображення полотна колії та земляного полотна залізничної лінії, яке базується на безперервних вимірюваннях, а не на інтерполяції точкових результатів [18].

Як приклад приведемо систему SafeRailSystem (SRS) [18], яка дозволяє точну перевірку залізничних насипів на високій швидкості і використовується для проведення безперервних геотехнічних вимірювань стану колій. Антени георадара можуть бути встановлені на будь-якому залізничному транспорті, як це приведено на рис. 2.12. Система надає повну інформацію про стан баласту, а вимірювання може контролювати один оператор, який має доступ до компактної системи блоку керування та програмного забезпечення, підключеного до антен, розташованих поза залізничним транспортним засобом або вимірювальним візком. Антени кріпляться на спеціальну конструкцію – каркас, оскільки це найпростіший спосіб розміщення антен безпосередньо над колією (рис. 2.14).

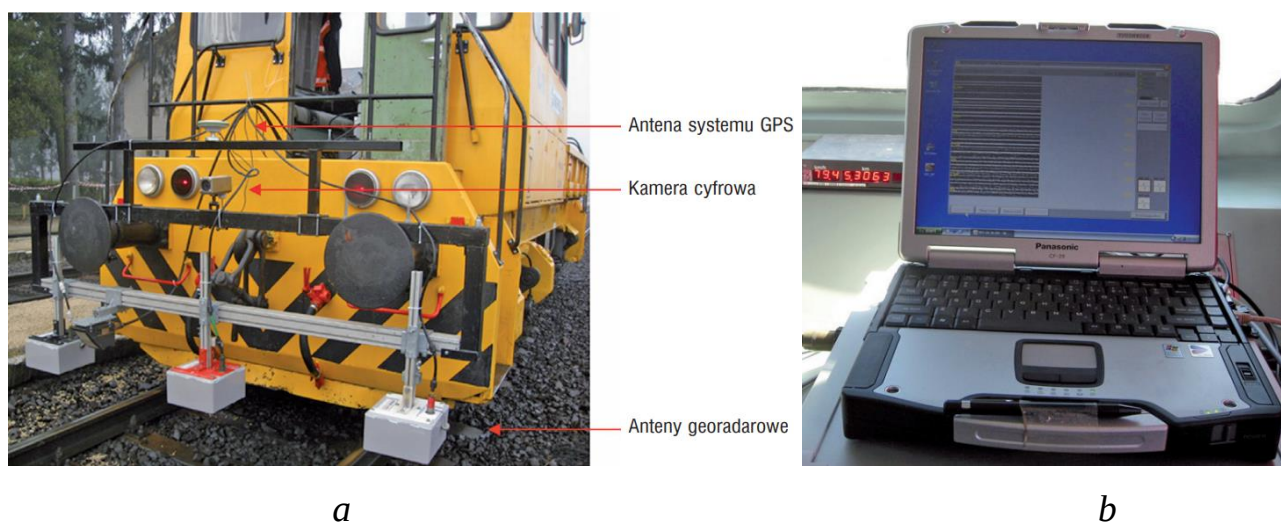


Рисунок 2.14 – Георадарні зйомки [18]: *a* – розміщення антен та цифрової камери; *b* – вигляд результатів вимірювання, що виведені на ПК.

Використання SafeRailSystem надає інформацію щодо безперервного випробування товщини залізничного баласту, розрізняє шари між чистим і забрудненим баластом, потім визначає розташування зон із недостатньою несучою здатністю земляного полотна у зв'язку з експлуатацією залізничної лінії та визначає перезволожені ділянки.

Спеціалізоване та експертне розширене програмне забезпечення дозволяє, серед іншого, інтегрувати результати вимірювань із синхронізованими даними, отриманими від системи GPS та з синхронізованою відеокамерою (рис. 2.14).

Що стосується швидкості вимірювань, то найшвидші практичні вимірювання були проведені на швидкості 120 км/год. В даний час вимірювання можна проводити на швидкостях до 300 км/год [18].

Інтеграція техніки GPS і методу георадара не обов'язково зосереджується на вимірюваннях залізничної техніки, але в загальному сенсі на сучасних інженерних вимірюваннях. Як приклад можна привести польський досвід де експлуатується мобільна скануюча система. Крім техніки лазерного сканування, можливе використання георадара з частотою 400 МГц або 1,6 ГГц. Він проникає в землю на глибину 1–2 м, а з меншою точністю - навіть до 5 м (рис. 2.15) [19].



Рисунок 2.15 – Інтеграція технології GPS і методу георадара в поєднанні з лазерним скануванням, що виконується автолабораторією [19].

Георадар, встановлений на спеціальну конструкцію, кріпиться в задній частині автомобіля, прямо над землею. Використання такого мобільного георадара, в даному випадку в поєднанні з автомобільною, технологією GPS, лазерні сканери, встановлені на даху автомобіля, цифрові камери тощо, можна використовувати для інвентаризації підземної інфраструктури (кабелів, труб

тощо), дослідження якості дорожнього покриття, геологічний аналіз або ґрунтознавство.

Застосування георадару дозволяє використовувати його для проникнення та дослідження стану земляного полотна, а також для мобільного виявлення та вимірювання підземної дорожньої інфраструктури. Інтеграція методів GPS та GPR у сучасні інженерні вишукування має допомогти підтримувати належний стан дорожньої та залізничної інфраструктури. Підготовлені звіти з результатами вимірювань дозволяють постійно контролювати хід ремонтних робіт і виділяти ділянки доріг і колій, а також об'єкти, які потребують швидкого ремонту. Це, у свою чергу, дозволяє стандартизувати процедури в усьому підприємстві та допомагає правильно планувати витрат на утримання автомобільної та залізничної мережі [19].

Основним фактором, що дозволяє приймати відповідні рішення та робити відповідні висновки щодо утримання та ефективної експлуатації руху поїздів, є правильне визначення технічного стану залізничних колій шляхом ефективного аналізу результатів вимірювань: геодезичних, діагностичних та георадарних досліджень.

2.5 Діагностичні поїзди для суцільного моніторингу інфраструктури залізниці

Для прикладу у Німеччині для діагностики залізничної інфраструктури застосовують комплекс UST 02 (рис. 2.16, *а*), який використовується для перевірки рейок за допомогою ультразвуку та вихрових струмів і багатьох інших вимірювань, перевірка верхньої та нижньої будови колії з їх геометричним вимірюванням. Двокомпонентний самохідний вимірювальний блок може рухатися з максимальною швидкістю 120 км/год і проводити вимірювання на швидкостях до 100 км/год.



a



b



c

Рисунок 2.16 – Вигляд діагностичного комплексу: *a* - комплекс UST 02 [20];
b - радіозв'язку [18]; *c* - ICE V [21].

Для радіовимірів DB AG Railways має діагностичний вагон, який дозволяє виміряти рівень живлення радіозв'язку вздовж залізничного полотна, рівень потужності GSM для операторів GSM-R і громадських операторів, а також провести аналіз несправностей (виявлення причин перешкод та збоїв), загальний вигляд діагностичного вагону приведено на рис. 2.16, *b*.

Для контрольно-вимірювальних поїздок на високошвидкісних лініях. Згідно із залізничними правилами DB AG, поїздки на кожній лінії високошвидкісної залізниці здійснюються два-три рази на рік. На додаток до вимірювання геометричної схеми колій відповідно до стандарту EN 13848 (Залізниця/Колія – Геометрична якість колії) [7, 8], під час подорожі проводяться вимірювання сил, що виникають між колесом і рейкою, і взаємодія перевіряється зв'язок пантографа з контактною лінією та його положення відносно осі колії. Для цього застосовують поїзд ICE (рис. 2.16, *c*) [21]. Даний комплекс також використовується для випробування та перевірки відповідності специфікаціям сумісності нових технологій, що використовуються на модернізованих або новозбудованих залізничних лініях [18].

Потужним за своїми вимірювальними можливостями, є діагностичний поїзд NeiTech VT (рис. 2.17). Цей транспортний засіб можна використовувати для перевірки перевищення колії на кривих різного радіуса, а також для визначення допустимої швидкості для їх подолання. Використовується для регулярних оглядів залізничних колій з метою перевірки їх технічних та експлуатаційних параметрів, включаючи перевірку взаємодії пантографа з тяговою мережею та аналіз зносу та пошкоджень рейок, а також вимірювання зусиль системи «колесо-рейка» на ділянках залізниць, особливо на гірських лініях.

Слід також зазначити, що з метою економічно обґрунтованого ефективного утримання діючих залізничних колій розвивається цифровізація профілактичних процесів на основі моніторингу стану залізничного полотна, для чого використовуються поїзди, що регулярно курсують. У зв'язку з цим DB AG Railways реалізує стратегію коригувального та профілактичного обслуговування, тобто невелика кількість транспортних засобів контролює всю мережу [23].



Рисунок 2.17 – Вигляд діагностичного комплексу NeiTech VT [22].

DB Systemtechnik розробила ефективну методику постійного моніторингу технічного стану залізничних колій, їх параметрів і навіть роботи деяких пристроїв. Крім звичайних рішень у вигляді різноманітних вимірювальних транспортних засобів, поїзди, які виконували перевезення, також були обладнані приладами контролю. Функціонування цього рішення забезпечує спеціальна система передачі та аналізу даних (рис. 2.18) [23].

В результаті менеджер інфраструктури має можливість дистанційно постійно контролювати стан колій. Завдяки оснащенню струмоприймача спеціальними датчиками також реєструється багато елементів, пов'язаних з правильною взаємодією пантографа з тяговою мережею.

Система вимірювання відповідає вимогам стандарту EN13848-2: «Railway applications - Track - Track geometry quality - Part 2: Measuring systems - Track recording vehicles».

Operating principle



Data transmission by radio
to control center



GPS tracking



Measurement computer
in the train



IMU (gyrometers) and
accelerometers inside

Accelerometers on the axle
bearing and bogie



Рисунок 2.18 – Вигляд діагностичного комплексу для моніторингу залізничної інфраструктури [23].

2.6 Висновки до розділу 2

У результаті проведеного аналізу методів діагностики залізничної інфраструктури, можна зробити такі висновки:

1. Аналіз засобів діагностики залізничної інфраструктури показує, що цей процес в країнах ЄС орієнтований на використання транспортних засобів, що використовуються для проведення комплексного обстеження залізничної інфраструктури.

2. Застосування таких комплексів дозволяє проводити дослідження стану залізничної інфраструктури, сучасні інженерні розробки реалізують підтримку належного стану залізничної інфраструктури. Підготовлені звіти з результатами вимірювань дозволяють постійно контролювати об'єми потрібних ремонтних

робіт і визначати ділянки, а також об'єкти, які потребують швидкого ремонту. Це, у свою чергу, дозволяє стандартизувати процедури в усьому підприємстві та допомагає прогнозувати витрати на утримання залізничної мережі.

3. Важливим напрямком є розробки, що не займають окремо коїю, а встановлюються на робочі поїзди, тобто використання універсальних діагностичних транспортних засобів. Як приклад, DB AG railways використовує для діагностики ліній поїзди, які виконують регулярні перевезення. Це можливо як завдяки сучасним рішенням вимірювальних приладів, так і цифровізації процесів. Створення спеціальних інструментів для передачі великої кількості даних у реальному часі та великих наборів даних, а також все більш поширені методи обробки зібраних даних, безсумнівно, є майбутнім сучасного утримання залізничної інфраструктури, обслуговування та ремонту з мінімальними витратами та забезпечення безпеки руху.

3 МЕТОДИ ДІАГНОСТИКИ ЗАЛІЗНИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ В УКРАЇНІ

3.1 Контроль стану рейкової колії

Діагностування колії (контроль стану колії) – процес вимірювань та технічних оглядів з метою визначення технічного стану об'єктів залізничної колії, виявлення пошкоджень та визначення їх виду. Включає контроль технічного стану та пошук місця та визначення причин несправності (відмови), є частиною моніторингу колії.

Моніторинг залізничної колії – сукупність систематичних процесів оцінки, аналізу та прогнозу зміни стану об'єктів залізничної колії, що експлуатується, заснована на даних, одержуваних при діагностуванні колії за допомогою технічних оглядів та засобів діагностики.

Діагностичний засіб – діагностичні комплекси, вагони-шляховимірники, вагони-дефектоскопи, автомотриси та інші засоби, що використовуються при діагностиці та оцінці стану залізничної колії.

Основною метою моніторингу стану рейкової колії є своєчасне виявлення відхилень в параметрах колії від встановлених норм для запобігання виходу цих відхилень за межі допустимого рівня під час поточного утримання колії. Систематичне вимірювання параметрів рейкової колії дозволяє оцінити вплив різних факторів експлуатації на стабільність колії та виявляти характерні відхилення. Результати вимірювань використовуються для оцінки загального стану колії.

Під час проведення робіт з поточного утримання та ремонту колії контролюються такі параметри, як ширина колії, взаємне положення рейок, положення рейкових ниток у плані на криволінійних ділянках колії. Частота контролю залежить від експлуатаційних умов, конструкції колії, її стану, інженерно-геологічних умов району та особливостей природно-кліматичних факторів.

Зазвичай ширина колії та взаємне положення головок рейок перевіряються

щотижня бригадиром колії та не рідше двічі на місяць - дорожнім майстром спільно з бригадиром колії, використовуючи колійний шаблон. Визначені параметри колії також вимірюються за графіком, затвердженим начальником дистанції колії, безперервно на всій довжині колії не рідше одного разу на місяць за допомогою колієвимірювальних візків. Крім того, щомісяця всі контрольовані параметри колії вимірюються при проходженні вагона-колієвимірювача (на лініях зі швидкісним рухом поїздів вагон колієвимірювач пропускається не рідше двох разів на місяць).

Діюча структурна схема діагностики залізничної інфраструктури України приведена на рис. 3.1.

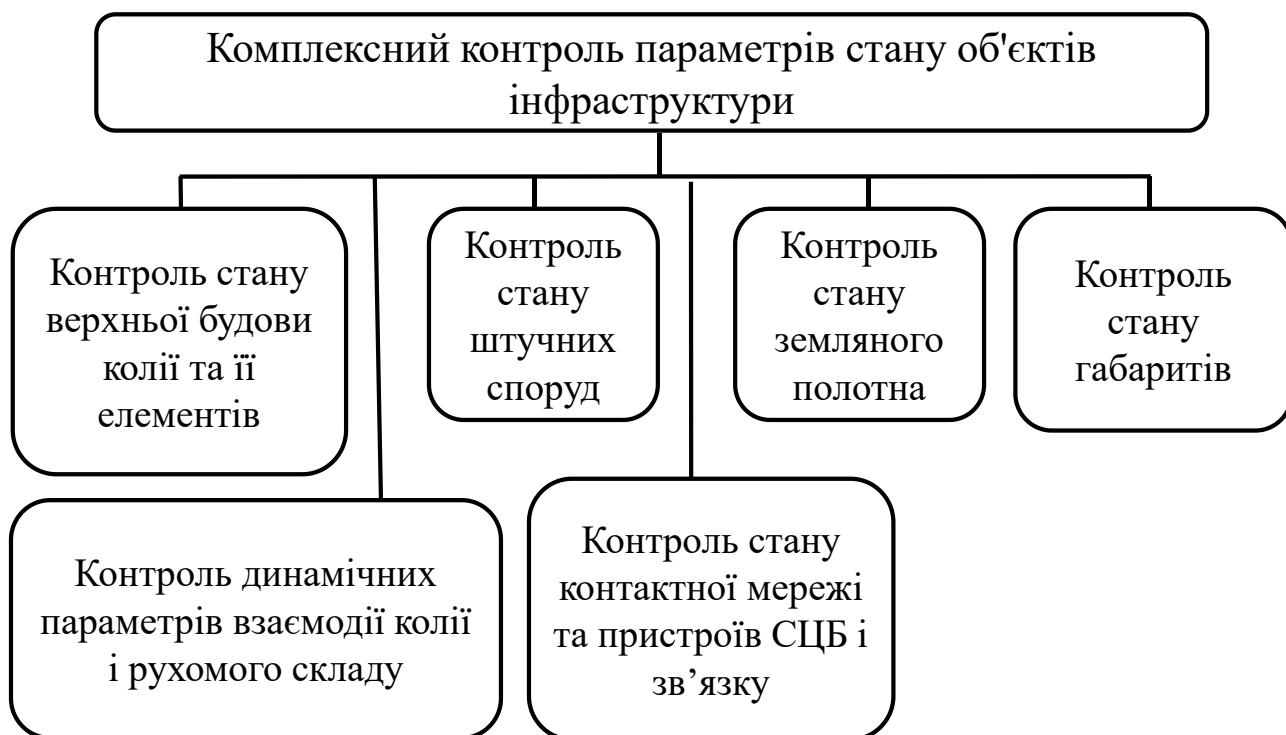


Рисунок 3.1 – Структурна схема діагностики залізничної інфраструктури України

Для комплексної діагностики технічного стану колії та споруд застосовуються різноманітні інструментальні засоби, у тому числі колієвимірювальні вагони, візки, вагони-дефектоскопи, дефектоскопні візки, лабораторії з дефектоскопії, мостові, тунельні колійні обстежувальні, випробувальні лабораторії та ін.

На станціях періодично оглядаються колії, стрілочні переводи, пристрої СЦБ та зв'язку, пристрої механізованих сортувальних гірок, контактної мережі, а також перевіряється видимість сигналів. Ці огляди проводяться не рідше одного разу на місяць начальником станції спільно з шляховим майстром та електромеханіком СЦБ та зв'язку [9, 11].

Щомісячно оглядаються колії та стрілочні переводи на коліях локомотивного, вагонного та інших господарств тими самими комісіями за участю начальників відповідних підрозділів.

Результати зазначених оглядів та заходів щодо них заносять до чергового по станції «Журнал огляду колій, стрілочних переводів, пристроїв СЦБ, зв'язку та контактної мережі» (ДУ-46), в якому зазначається і час усунення несправностей.

3.2 Інструментальні засоби для проведення вимірювань параметрів залізничної колії

Колієвимірювальні шаблони застосовуються для вимірювань ширини колії, взаємного положення поверхонь катання головок рейок за рівнем, відстаней між робочими гранями осердя хрестовини та контррейки, між робочими гранями контррейки та вусовика на хрестовині, ординат перевідних кривих. В процесі виконання колійних робіт на перегонах і станціях для перевірки ширини колії в прямих і кривих ділянках колії, а також при складанні ланок рейко-шпальної решітки на колійних виробничих базах.

Шаблоном (рис. 3.2) можна вимірювати ширину колії у зоні хрестовини на стрілочних переводах з контррейками підвищеного профілю.

Основною частиною шаблону є корпус з нерухомим та рухомим вимірювальними упорами; всередині корпусу закріплена пружина, що притискає рухомий упор до бічної робочої грані головки рейки.

Рухомий упор з'єднаний тягою з важелем, розміщеним під ручкою шаблону, та покажчиком шкали ширини колії. На шаблоні встановлений циліндричний рівень, один кінець якого прикріплений до корпусу шарнірно, а інший

з'єднаний з підйомним гвинтом, на якому закріплена шкала для відліку підвищення однієї рейки над іншою. При розташуванні поверхонь катання рейок в одному рівні бульбашка рівня розташовується посередині циліндра, а нульовий поділ лімба - проти покажчика. За наявності відхилення за рівнем обертанням лімба повертають бульбашку в середнє положення і проти покажчика зчитують з лімба величину перевищення одної рейкової нитки над іншою.

До корпусу шаблону прикріплена металева лінійка з діленнями та рухомих покажчиком для відліку ординат перевідної кривої.

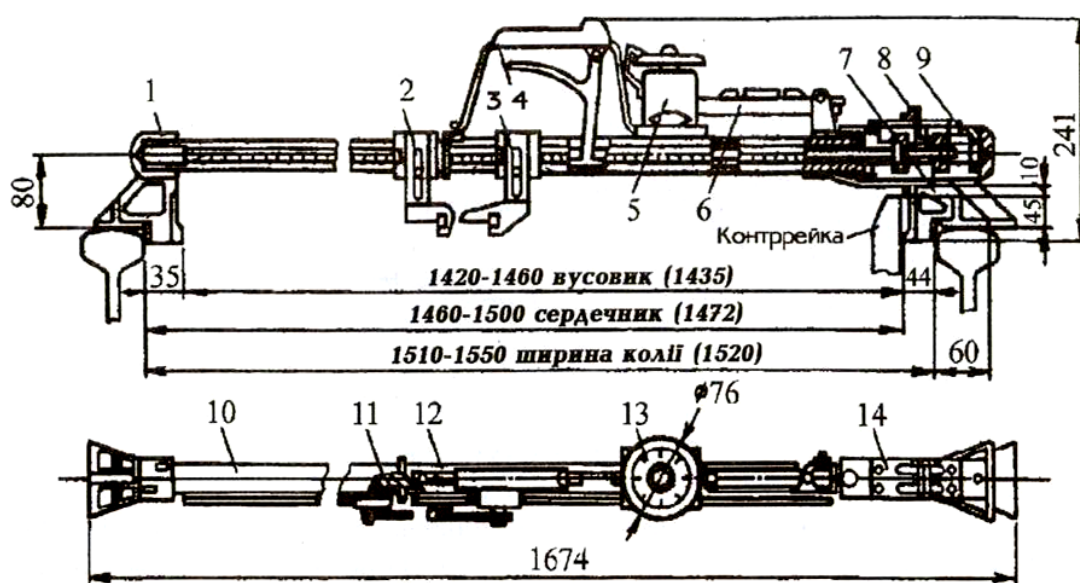


Рисунок 3.2 – Контрольний шаблон ЦУП-3Д: 1 – нерухомий упор; 2, 3 – упори для вимірювання ординат перевідної кривої; 4 – ручка; 5 – корпус рівня; 6 – рівень; 7 – рухомий упор; 8 – покажчик шкали ширини колії; 9 – направляюча; 10 – ліва частина корпусу шаблону; 11 – ізоляційна бобіна; 12 – права частина корпусу шаблону; 13 – шкала рівня; 14 – шкала шаблону ширини колії.

Також дистанції колії застосовують шаблони типу ПШ-1520 (рис. 3.3).

Всі колійні шаблони мають свій номер і реєструються у спеціальному журналі з позначкою дати перевірки (повірки). Після виправлення та перевірки шаблонів на них, ставиться тавро, що вказує назву дистанції, номер околотка і номер приладу.



Рисунок 3.3 – Контрольний шаблон ПШ-1520

Перевірки шаблонів проводяться квартално керівниками дистанції колії. У майстернях дистанції колії перевірку правильності показань ширини колії контролюють спеціальним приладом (рис. 3.4), а показання рівня – на горизонтально виставленій перевірочній плиті. Прилади та оснащення майстерень дистанції, що застосовуються для перевірки колійних шаблонів, щорічно повіряються контрольними шаблонами, що пройшли випробування в органах стандартизації та метрології і мають тавро з датою перевірки та прізвищем перевіряючого.

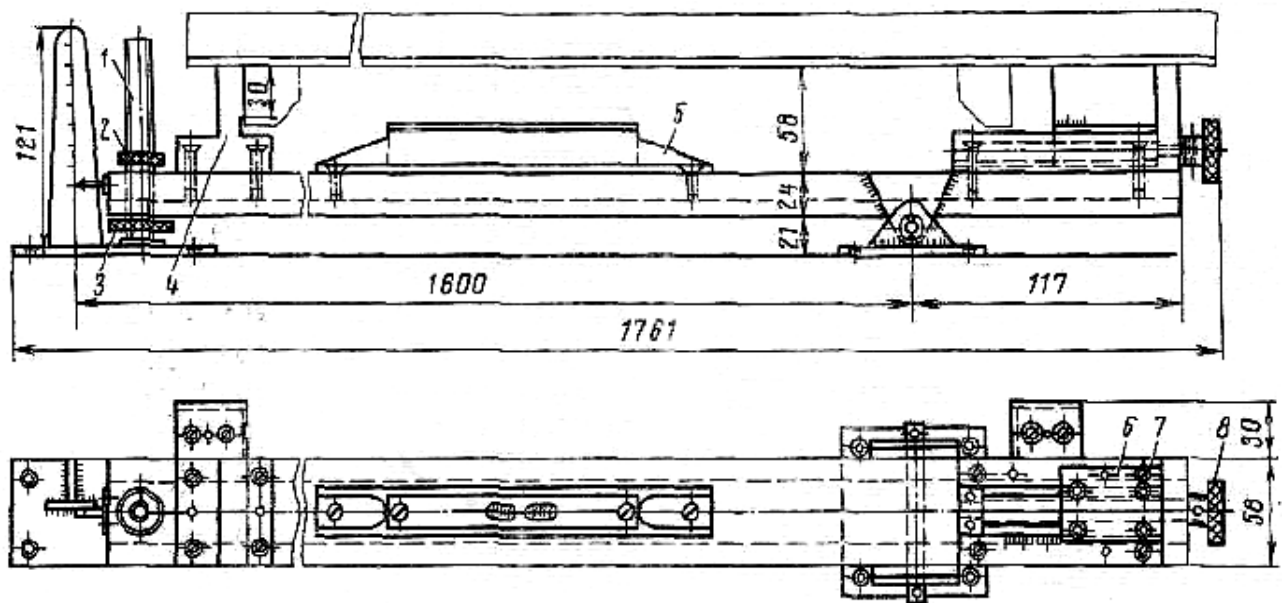


Рисунок 3.4 – Стенд для перевірки колійних шаблонів: 1 – рухома опора; 2 – рівень; 3 – шарнірна опора; 4 – робочий шаблон, що встановлений на перевірку; 5 – рівень; 6 – гайка з конусом; 7 – опора права; 8 – головка гвинта.

Перевірка колії шаблонами трудомістка: при ретельному виконанні цієї роботи бригаду колії (ПДБ) або дорожньому майстру (ПД) доводиться на 25-метровій ланці встановлювати шаблон в 8-10 разів (через 5–6 шпальних ящиків), отримуючи при цьому лише дискретні значення ширини колії та відносних перевищень рейок у перерізах, що перевіряються.

Колієвимірювальні візки дозволяють проводити безперервну перевірку стану колії за шириною та рівнем з автоматичним записом результатів вимірювань на паперовій стрічці. Довжина безперервного запису залежить від інтервалів між поїздами. При пропуску поїзда візок знімають з колії, а після проходження поїзда знову ставлять у перерізі, на якому було припинено запис.

Триколісний колієвимірювальний візок конструкції Д. Д. Матвієнко показано на Рис. 3.5. Трубчаста рама візка спирається на колеса спеціальної форми, одне з коліс закріплене на півосі, що має можливість обмежених зсувів в поперек колії. З піввіссю системою важелів зв'язаний самописець ширини колії. Самописець рівня має важільний зв'язок із маятником, поміщеним у рідинний гасник. Стрічковий пристрій за допомогою карданної передачі має

привід від одного з коліс візка. Для контролю запису є шкала та показчик ширини колії, а також рідинний рівень того самого типу, що і на шаблонах ЦУП.

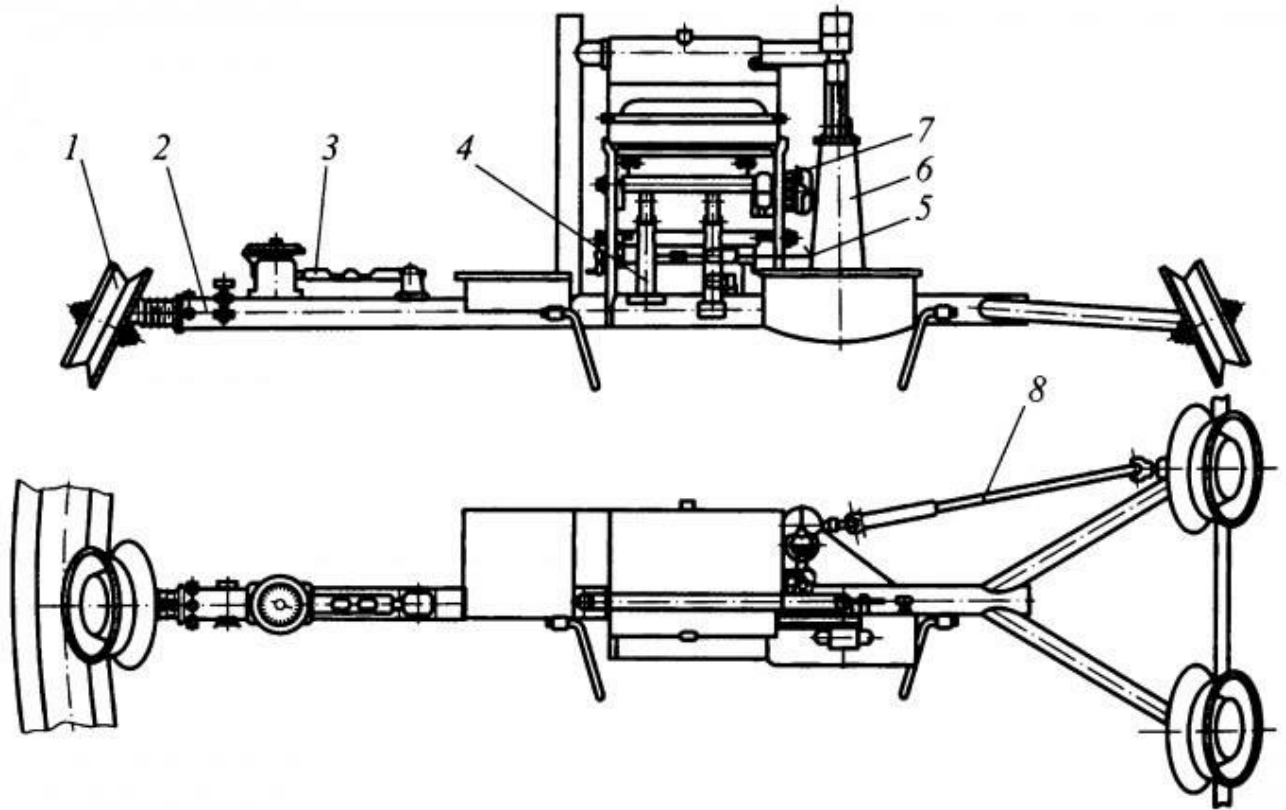


Рисунок 3.5. – Триколісний колієвимірювальний візок конструкції Д. Д. Матвієнко: 1 – опорно-вимірювальне колесо; 2 – трубчаста рама; 3 – рідинний рівень; 4 – тримач механізму шаблону; 5 – тяга маятника; 6 – маятник; 7 – стрічкопротяжний механізм; 8 – карданна передача.

Удосконаленням візків цього типу є колієвимірювальний візок типу ПТ-7МК (рис. 3.6). В останньому знижена маса та застосована досконала система запису. Щоб виміряти ширину залізничної колії, перевищення рейок одна відносно іншої і на довжину колії використовують колієвимірювальний візок типу ПТ-7МК. За цими даними виявляють несправності залізничної колії, щоб надалі, приймати рішення щодо усунення відступів чи проведення ремонту. Перевага візка ПТ-7МК - автоматичне внесення даних до контролера з можливістю обробки та передачі в комп'ютер.

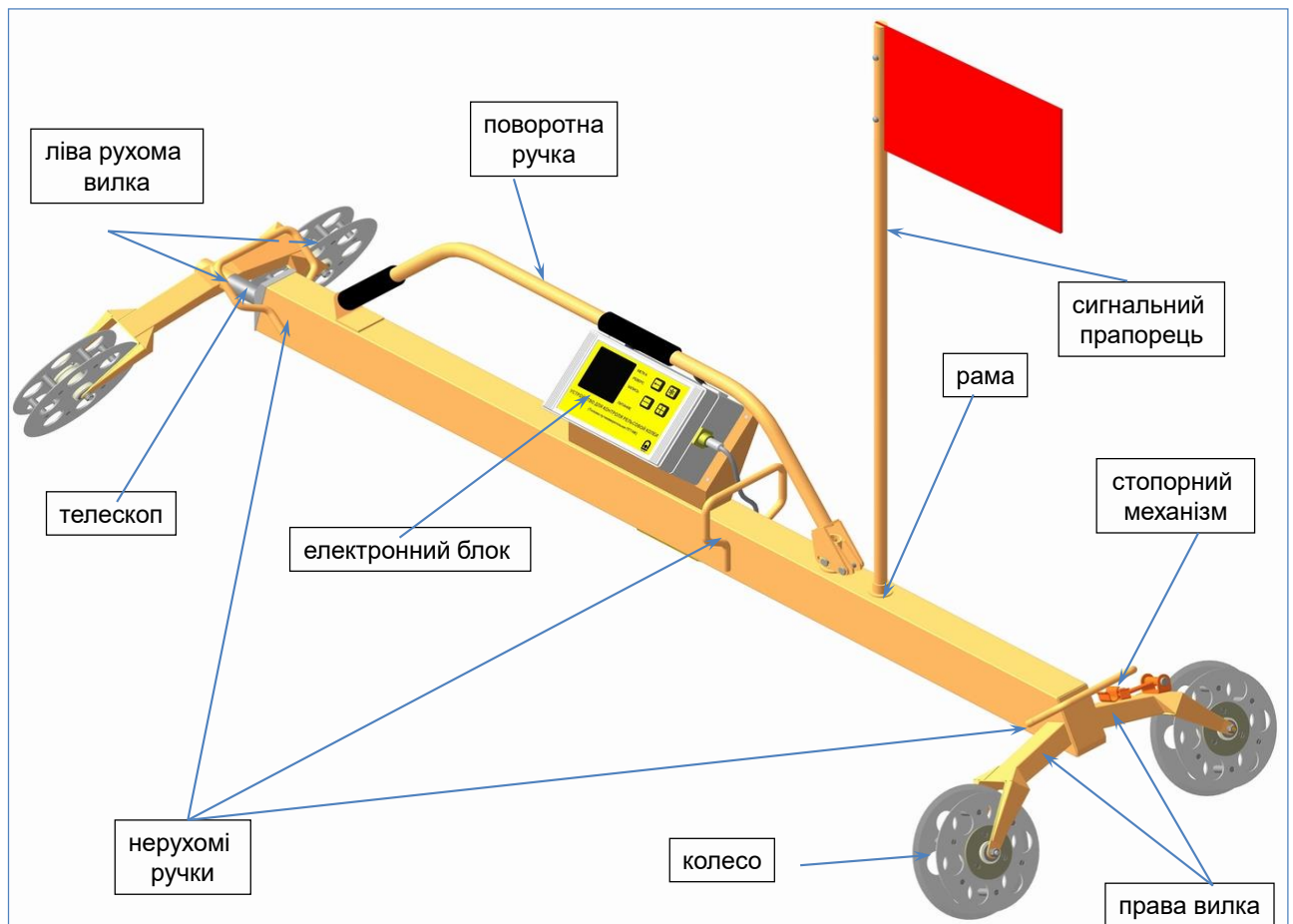


Рисунок 3.6. – Колієвимірювальний візок типу ПТ-7МК

Колієвимірювальні вагони (рис. 3.7) служать для систематичного суцільного контролю рейкової колії. Колієвимірювальний вагон забезпечує вимірювання і реєстрацію на стрічці геометричних параметрів рейкової колії, які впливають на плавність і безпеку руху поїздів. Приклад записів стану колії вагонами, що обладнані автоматизованою системою розшифровки приведено на рис. 3.8.

Відповідно до [10] “До параметрів стану рейкової колії, що вимірюються і реєструються колієвимірювачем, належать: взаємне положення рейкових ниток за висотою (рівнем), місцеві осідання (горби і западини) кожної рейкової нитки, ширина колії, положення рейкових ниток за напрямком у плані.”



Рисунок 3.7 – Вагон колієвимірювач

Відповідно до [10] “Поздовжній масштаб запису усіх параметрів 1:2000 (1 мм стрічки відповідає 2 м колії). На колієвимірювальних вагонах обладнаних бортовою автоматизованою системою (БАС) реєстрації і розшифровування геометричних параметрів стану колії, прийняті наступні масштаби записів: – поздовжній масштаб записів усіх параметрів 1:4 000; – поперечний масштаб записів усіх параметрів 1:4.

Колієвимірювальний вагон ЦНІІІ-2 створений на базі пасажирського вагона зі стандартним підресорюванням та навантаженням від колісної пари на рейки, що забезпечує технічну можливість контролю зі швидкістю до 100 км/год стану рейкової колії.

Результати вимірювань записуються чорнилом одночасно на двох паперових стрічках шириною 420 мм кожна. Одна стрічка є основною і розшифровується для отримання бальної оцінки стану колії, інша дублікатом, що передається супроводжуючому вагон керівнику дистанції колії для усунення виявлених несправностей.

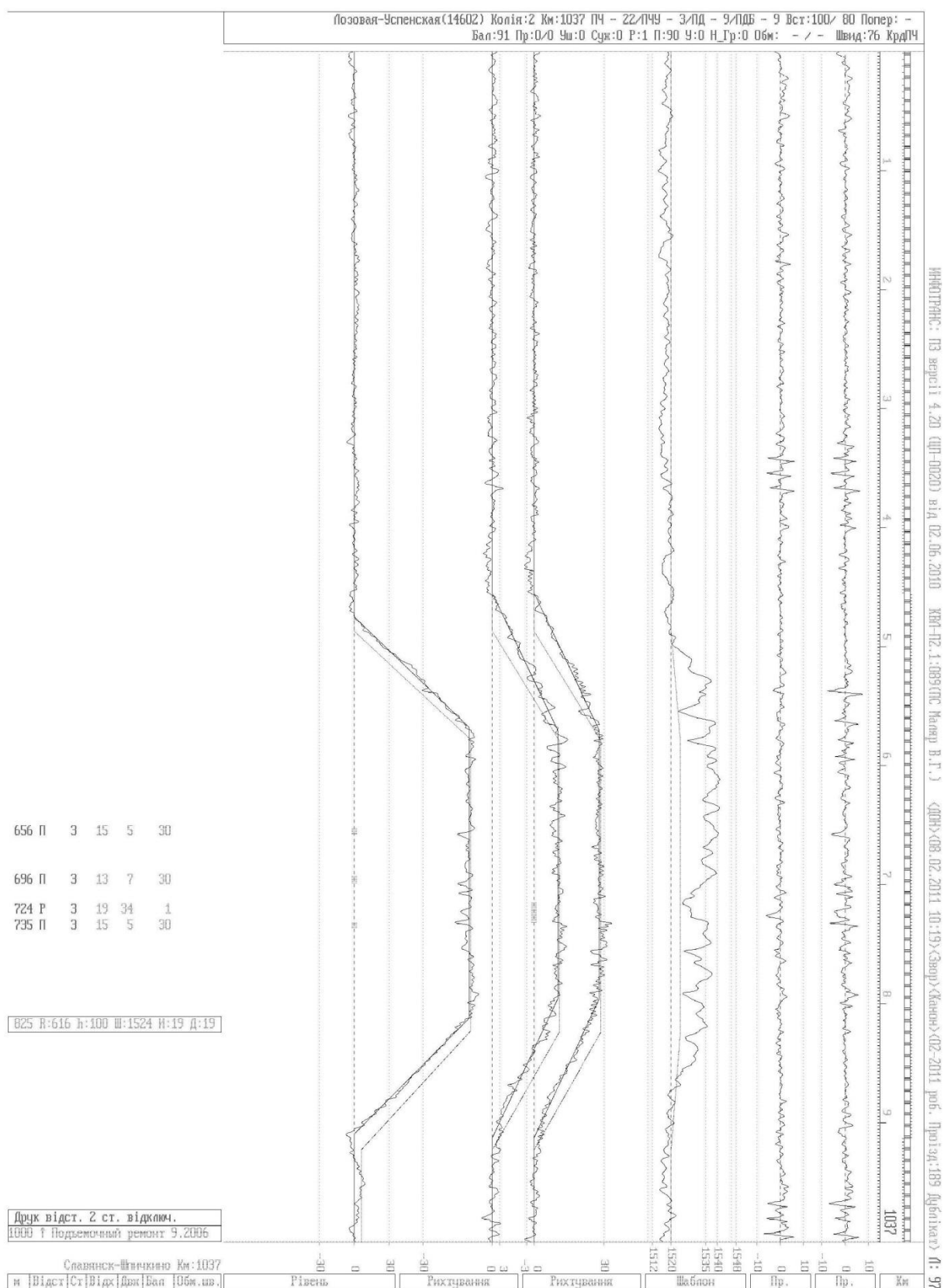


Рисунок 3.8 – Приклад записів стану колії вагонами, що обладнані автоматизованою системою розшифровки [10]

Усі відступи, які потребують негайного усунення, відзначаються на стрічці – дублікаті. Відомості про виявлені відступи, через які необхідно обмежити швидкість руху, начальник Колієвимірювального вагона повідомляє начальнику залізниці, начальнику служби колії, начальникам дільниці та дистанції колії.

Технічний рівень конструкції та якість роботи основних систем колієвимірювача не відповідають сучасним вимогам і можливостям - потрібні висока швидкість і надійність вимірювань, досконалий носій інформації та її автоматичне розшифрування та обробка, розширення номенклатури параметрів, що реєструються враховуються пізніше при оцінці стану колії. У цьому напрямі ведеться робота з удосконалення конструкцій колієвимірювачів: застосовуються безконтактні датчики переміщень, електроннооптичні перетворювачі, лазерна техніка, бортові комп'ютери, які ведуть роботу і аналіз результатів із вимірювань з видачею на друк даних про виявлені несправності.

3.3 Методи діагностики земляного полотна

Основним критерієм для прийняття обґрунтованих рішень щодо утримання та ремонту залізничної інфраструктури та забезпечення безпечного руху поїздів є інтегрована система діагностики технічного стану, зокрема земляного полотна.

Нижня будова колії впливає на стан та стабільність верхньої будови, тому необхідно регулярно діагностувати її, виявляти дефекти та збирати інформацію для аналізу та прийняття рішень.

Хоча прогресивні методи діагностики забезпечують швидкий доступ до інформації, ефективність системи та правильність прийнятих рішень залежать від періодичного збору даних. Цей період повинен унеможливити критичний розвиток деформацій і технічно називається моніторингом. Моніторинг включає в себе повторювані візуальні та інструментальні спостереження, оцінку результатів, прогноз змін для виявлення моментів, близьких до граничних, і розробку методів управління для нормалізації експлуатації земляного полотна.

Моніторинг земляного полотна може бути виконаний з використанням даних вагонів-колієвимірювачів, результатів навантажувальних комплексів та даних інженерно-геологічного обстеження. Для обстеження земляного полотна традиційні методи включають геологорозвідувальне буріння для визначення внутрішньої будови та властивостей ґрунтів.

Останнім часом геофізичні методи, такі як електрометричний, електродинамічний зондування, сейсмічний, вібраційний та георадіолокаційний, отримують все більше значення порівняно з традиційними методами вивчення геологічної будови земляного полотна.

Георадіолокаційний метод заснований на виробленні електромагнітного імпульсу в середовищі через введення сигналу, а виходячи зі сприймальної антени, реєструється відгук середовища. Цей відгук представляє собою сукупність хвиль, які відрізняються за часом прямовання, інтенсивністю та формою. Кінематичні та динамічні характеристики цих хвиль містять інформацію про саме середовище. Пристрій, який втілює принципи георадіолокації, отримав назву георадар і зображений на рис. 3.9. Принцип роботи георадару ґрунтується на випромінюванні імпульсів електромагнітних хвиль метрового та дециметрового діапазону, а також на прийомі відгуку - сигналу, який є сумішшю амплітуд прямих, відбитих та заломлених хвиль, що досягають приймальної антени [24].



Рисунок 3.9 – Георадар «Лоза-Б»

Згідно [25] георадіолокаційна діагностика застосовується з метою: скорочення обсягів трудомістких та дорогих інженерно-геологічних робіт при обстеженні земляного полотна; отримання вихідних даних для проектування, розробки заходів для посилення земляного полотна та його основи; одержання вихідних даних для планування капітального ремонту реконструкції (модернізації) верхньої будови колії; визначення причин деформацій верхньої будови колії або земляного полотна, що раптово з'явилися; проведення контролю якості робіт під час ремонту, реконструкції, будівництва земляного полотна.

3.4 Висновки до розділу 3

У результаті аналізу та порівняння сучасних методів і засобів дефектоскопії залізничних колій можна зробити висновок, що в Україні засоби діагностики прагнуть подальшого вдосконалення. Оскільки в країнах ЄС завдяки більш широкому використанню та впровадженню прогресивних засобів діагностики залізничної інфраструктури рівень достовірності та ефективності інформації в процесі діагностики є набагато вищий.

Діагностика залізничної інфраструктури є важливим елементом комплексного процесу утримання колійної інфраструктури на залізничних лініях. Обсяг і методи дій, які вживаються в рамках діагностичних досліджень, вказують на те, що це розвиваючий елемент процесу технічного обслуговування, в якому використовуються сучасні передові технічні методи вимірювання та обладнання, які дозволяють ефективно, надійно та об'єктивно оцінювати стан залізничного полотна, що становить, основу раціонального управління процесами її обслуговування.

4 РЕКОМЕНДАЦІЙ ЩОДО ДІАГНОСТИКИ ЗАЛІЗНИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ ВІДПОВІДНО ДО ВИМОГ ІНТЕРОПЕРАБЕЛЬНОСТІ

4.1 Загальні положення

У наш час залізничні мережі в усьому світі дедалі більше обтяжені високошвидкісними поїздами, які перевозять велику кількість пасажирів і важкі вантажні вагони, створюючи величезні обсяги руху на коліях. Усе це призводить до збільшення попиту на технічне обслуговування колій. Витрати на перевірку та технічне обслуговування колій поступово збільшуються в останні роки, що призводить до значного покращення показників якості, таких як [26]:

- підвищення безпеки залізничної системи;
- розвиток залізничних мереж у відповідь на зростаючий попит;

підвищення стабільності залізничних мереж як в екологічному, так і в фінансовому контексті шляхом подальшого вдосконалення та використання технологічних інновацій.

4.2 Комплексна діагностика залізничної інфраструктури

Відповідно до [27] створення залізничної інфраструктури є дуже складним процесом, оскільки вона має багато складових.

Технічне обслуговування інфраструктури слід систематизувати та аналізуючи дані приймати рішення щодо параметрів експлуатації та проведення різних видів робіт.

Якщо до управління інфраструктурою підходити не адекватно, тобто виконувати профілактичні та ремонтні заходи, а не реконструкцію та капітальний ремонт, то зрештою виникнуть серйозні технічні несправності для усунення яких будуть потрібні значні фінансові витрати.

Системи технічного обслуговування колії [27]:

- Поточна система ведення технічного обслуговування;

➤ Планово-попереджувальна (періодична) система технічного обслуговування;

➤ Система ведення технічного обслуговування, яка залежить від технічного стану колії та від його змін:

- Покращує (корегує);
- Попереджувальна (профілактика).

Зі збільшенням навантаження на вісь та підвищенням швидкості для ефективного управління слід створювати "розумну" систему поточного утримання та управління нею. Ця система повинна отримувати цифрову інформацію, накопичувати її та у разі зміни контрольних параметрів повідомляти про загрозу або накладати обмеження. Це все неможливо без сучасних технологій вимірювання та систем з заснованими на аналізі даних. Орієнтовна структура систем діагностики показана на рис. 4.1.

На сьогоднішній день перед філією «Центр діагностики залізничної інфраструктури» стоять такі завдання:

- лабораторії, які є у складі Філії, слід укомплектувати сучасними засобами вимірювання;
- розробити чітку систему діагностики, яка має достатню базу даних для виконання паспортизації об'єктів інфраструктури;
- покращення технічного забезпечення організацій з ремонту колії та земляного полотна;
- підвищити кваліфікацію працівників для роботи із сучасними засобами діагностики.

Система діагностики технічного стану інфраструктури повинна включати:

- своєчасний нагляд;
- збір та обробка даних та їх зберігання;
- рекомендації щодо часу та виду робіт;
- видача попереджень;
- контроль якості робіт.



Рисунок 4.1 – Структура системи діагностики

Залізничні організації в розвинених країнах світу практикують та впроваджують технічні системи які дозволяють економічно вигідно керувати інфраструктурою. Система виконує обробку даних, приймає рішення щодо обмежень та планує заходи профілактики, забезпечує безпеку руху, здійснює розподіл ресурсів з максимальною ефективністю.

4.3 Рекомендації щодо діагностики залізничної інфраструктури з коліями європейської ширини 1435 мм

Військова агресія російської федерації проти України остаточно дала зрозуміти, Україні слід активно проводити інтеграцією своєї залізничної інфраструктури до Європейського Союзу. Такі заходи дозволять вийти на

ринок ЄС шляхом розвитку перспективних переходів з країнами ЄС, проте це неможливо зробити без модернізації існуючої інфраструктури.

Україна активно працює над розбудовою пунктів пропуску з:

- Республікою Польща Ягодин – Дорогуськ та Мостиська II – Медика;
- Словацькою Республікою Чоп – Черна над Тисою/Захонь;
- Угорщиною.

Ці заходи передбачають розбудову інтермодальних терміналів та здійснення реконструкції колій на колії європейської ширини - 1435 мм.

Як приклад, АТ "Укрзалізниця" (УЗ) за підтримки агентства США з міжнародного розвитку (USAID) планує розробку проєкту "євроколії", яка має з'єднати ст.Мостиська та ст.Скнилів.

Згідно з інформації [28] "Агентство США з міжнародного розвитку (USAID) та "Укрзалізниця" за участю віцепрем'єра з відновлення Олександра Кубракова та посла США Бріджит Брінк підписали Меморандум про взаєморозуміння. Згідно з ним USAID допоможе модернізувати ділянку від станції Мостиська, яка розташована на кордоні з Польщею, до Львова (Скнилів). Першим етапом стане створення техніко-економічного обґрунтування проєкту".

Цей проєкт має на меті у подальшому розвивати інфраструктуру колії шириною 1435 мм шляхом сполучення з Ужгородом, Ковелем, Чернівцями, Києвом і містами на сході України. Дані колії будуть використовуватися під вантажні та пасажирські перевезення у напрямку країн ЄС.

Щодо діагностики колій шириною 1435 мм то тут будуть виникати певні труднощі, а саме технічна та кадрова. Технічна проблема полягає у відсутності інструментів та діагностичних комплексів для колії 1435 мм, а кадрова у працівниках які б мали знання та навички до «нової» конструкції колії.

Дані проблеми можна вирішити придбанням сучасних діагностичних комплексів та ручного вимірювального інструменту з паралельним навчанням персоналу який буде обслуговувати дані пристрої.

Відповідно працівникам, що відповідають за поточне утримання та діагностику колій слід буде керуватися стандартами які діють у ЄС щодо

рейкової колії, а саме:

➤ EN 13848-1 (2019-03) [29] який дає визначення основних параметрів геометрії колії та встановлює мінімальні вимоги до вимірювань, методів аналізу та представлення результатів. Мета полягає в тому, щоб дозволити порівняти результати різних вимірювальних систем;

➤ EN 13848-2 (2020-11) [30] документ визначає мінімальні вимоги до принципів вимірювання геометрії колії та систем вимірювання геометрії колії для отримання порівнянних результатів під час вимірювання тієї самої колії. Він застосовується до всіх вимірювальних систем, як керованих, так і без нагляду, встановлених на будь-якому транспортному засобі, за винятком систем, визначених у EN 13848-3 та EN 13848-4. Йдеться лише про системи, введені в експлуатацію після набуття стандартом чинності. Цей документ не визначає вимог до приймання транспортного засобу. Цей документ не поширюється на вимірювальні системи, призначені для міських залізничних систем;

➤ EN 13848-3:2022-02 [31] європейський стандарт установлює мінімальні вимоги до вимірювальних систем, встановлених на машинах для будівництва та технічного обслуговування колій, щоб дати оцінку якості геометрії колії під час вимірювання будь-якого одного чи кількох параметрів, описаних у EN 13848-1. Цей європейський стандарт також надає прийнятні відмінності від EN 13848-1 при використанні вимірювання хорди. Цей європейський стандарт не визначає: - вимоги до прийнятності транспортних засобів; - критерії допуску колійних робіт; - вимоги до міських залізничних систем. Однак його частини можна використовувати як довідковий матеріал, доки не буде опубліковано конкретний стандарт. Йдеться лише про системи, введені в експлуатацію після того, як стандарт набуде чинності;

➤ EN 13848-4:2023-07 [32] ця частина європейського стандарту встановлює мінімальні вимоги, яким повинні відповідати вимірювальні системи, встановлені на візках для вимірювання геометрії колії та ручних пристроях для оцінки якості геометрії колії за допомогою одного або кількох параметрів,

описаних у EN 13848-1. Він встановлює прийнятні відмінності від EN 13848-1 при використанні візків для вимірювання геометрії колії та пристроїв з ручним керуванням для вимірювання геометрії колії. Він застосовується до всіх систем вимірювання геометрії колії, встановлених на візках для вимірювання геометрії колії та приладах з ручним керуванням після дати впровадження цього стандарту;

➤ EN 13848-5:2017-10 [33] цей документ визначає мінімальні вимоги до рівнів якості геометрії колії та визначає межі, пов'язані з безпекою, для кожного параметра, як визначено в EN 13848-1 і вимірюється будь-якою системою вимірювання геометрії колії, як визначено в EN 13848-2, EN 13848-3 та EN 13848-4. Цей документ охоплює наступні теми: межі негайної дії рекомендації щодо рівнів допусків для ізолюваних дефектів; відносна важливість параметрів щодо поведінки автомобіля. Необхідність вимірювання, частота вимірювань і вибір вимірюваних параметрів не охоплюються цим документом. Він застосовується до високошвидкісних і звичайних ліній, включаючи стрілочні переводи та перехрестя, залізниць із колією 1435 мм і ширшої колії за умови, що транспортні засоби, які експлуатуються на цих лініях, відповідають EN 14363 та іншим стандартам безпеки транспортних засобів. Цей європейський стандарт не поширюється на міські залізничні системи;

➤ EN 13848-6:2021-03 [34] цей європейський стандарт визначає мінімальні вимоги до принципів і систем вимірювання геометрії колії з метою отримання порівнянних результатів під час вимірювання тієї самої колії. Він поширюється на всі вимірювальні системи, як з наглядом, так і без нагляду, встановлені на будь-якому транспортному засобі, за винятком машин для будівництва та обслуговування колій. Йдеться лише про системи, введені в експлуатацію після набуття стандартом чинності. Цей стандарт не визначає вимог до приймання транспортних засобів. Цей стандарт не поширюється на вимірювальні системи, призначені для міських залізниць, таких як трамваї, легкорейковий транспорт мережі.

4.4 Висновки до розділу 4

Із проведених досліджень можна зробити наступні висновки:

1. Технічне обслуговування інфраструктури слід систематизувати та аналізуючи дані приймати рішення щодо параметрів експлуатації та проведення різних видів робіт. Якщо до управління інфраструктурою підходити не адекватно, тобто виконувати профілактичні та ремонтні заходи, а не реконструкцію та капітальний ремонт, то зрештою виникнуть серйозні технічні несправності для усунення яких будуть потрібні значні фінансові витрати.

2. Зі збільшенням навантаження на вісь та підвищенням швидкості для ефективного управління слід створювати "розумну" систему діагностики та управління нею. Ця система повинна отримувати цифрову інформацію, накопичувати її та у разі зміни контрольних параметрів повідомляти про загрозу або накладати обмеження.

3. Залізничні організації в розвинених країнах світу практикують та впроваджують технічні системи які дозволяють економічно вигідно керувати інфраструктурою. Система виконує обробку даних, приймає рішення щодо обмежень та планує заходи профілактики, забезпечує безпеку руху, здійснює розподіл ресурсів з максимальною ефективністю.

4. Україні слід активно проводити інтеграцією своєї залізничної інфраструктури до Європейського Союзу. Такі заходи дозволять вийти на ринок ЄС шляхом розвитку перспективних переходів з країнами ЄС, проте це неможливо зробити без модернізації існуючої інфраструктури. Щодо діагностики колій будуть виникати певні труднощі. Технічна проблема полягає у відсутності інструментів та діагностичних комплексів для колії 1435 мм, а кадрова у працівниках, які б мали знання та навички для проведення діагностики «нової» конструкції колії.

Дані проблеми можна вирішити придбанням сучасних діагностичних комплексів та ручного вимірювального інструменту з паралельним навчанням персоналу який буде обслуговувати дані пристрої.

ВИСНОВКИ

Основні результати та висновки магістерської роботи полягають у наступному:

1. Технічні специфікації інтероперабельності (TSI) визначають технічні та експлуатаційні стандарти для забезпечення сумісності залізничної системи в Європейському Союзі. TSI є обов'язковими до виконання, а також їх Додатки (тобто юридично обов'язковими). EN - стандарти є національними (добровільними) в кожній із держав-членів. Проте, якщо пункти EN приведені у TSI то вони є обов'язковими до виконання, тобто зазначений EN також стає обов'язковим

2. В Україні система діагностики залізничної інфраструктури регламентується відповідно до ПТЕ [11] та Інструкції ЦП0269 [9] у яких по кожному елементу чи системі є посилання на відповідний документ, що регламентує процедуру діагностики, огляду і т. д.

3. Аналіз засобів діагностики залізничної інфраструктури показує, що цей процес в країнах ЄС орієнтований на використання транспортних засобів, що використовуються для проведення комплексного обстеження залізничної інфраструктури.

Застосування таких комплексів дозволяє проводити дослідження стану залізничної інфраструктури, сучасні інженерні розробки реалізують підтримку належного стану залізничної інфраструктури. Підготовлені звіти з результатами вимірювань дозволяють постійно контролювати об'єми потрібних ремонтних робіт і визначати ділянки, а також об'єкти, які потребують швидкого ремонту. Це, у свою чергу, дозволяє стандартизувати процедури в усьому підприємстві та допомагає прогнозувати витрати на утримання залізничної мережі.

4. Важливим напрямком є розробки, що не займають окремо колію, а встановлюються на робочі поїзди, тобто використання універсальних діагностичних транспортних засобів. Як приклад, DB AG railways використовує для діагностики ліній поїзди, які виконують регулярні перевезення. Це

можливо як завдяки сучасним рішенням вимірювальних приладів, так і цифровізації процесів. Створення спеціальних інструментів для передачі великої кількості даних у реальному часі та великих наборів даних, а також все більш поширені методи обробки зібраних даних, безсумнівно, є майбутнім сучасного утримання залізничної інфраструктури, обслуговування та ремонту з мінімальними витратами та забезпечення безпеки руху.

5. У результаті аналізу та порівняння сучасних методів і засобів дефектоскопії залізничних колій можна зробити висновок, що в Україні засоби діагностики прагнуть подальшого вдосконалення. Оскільки в країнах ЄС завдяки більш широкому використанню та впровадженню прогресивних засобів діагностики залізничної інфраструктури рівень достовірності та ефективності інформації в процесі діагностики є набагато вищий.

6. Технічне обслуговування інфраструктури слід систематизувати та аналізуючи дані приймати рішення щодо параметрів експлуатації та проведення різних видів робіт. Якщо до управління інфраструктурою підходити не адекватно, тобто виконувати профілактичні та ремонтні заходи, а не реконструкцію та капітальний ремонт, то зрештою виникнуть серйозні технічні несправності для усунення яких будуть потрібні значні фінансові витрати.

7. Україні слід активно проводити інтеграцією своєї залізничної інфраструктури до Європейського Союзу. Такі заходи дозволять вийти на ринок ЄС шляхом розвитку перспективних переходів з країнами ЄС, проте це неможливо зробити без модернізації існуючої інфраструктури. Щодо діагностики колій будуть виникати певні труднощі. Технічна проблема полягає у відсутності інструментів та діагностичних комплексів для колії 1435 мм, кадрова у працівниках, які б мали знання та навички для проведення діагностики «нової» конструкції колії.

Дані проблеми можна вирішити придбанням сучасних діагностичних комплексів та ручного вимірювального інструменту з паралельним навчанням персоналу який буде обслуговувати дані пристрої.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Сайт «European Union Agency for Railways». Електронний ресурс. - Режим доступу: https://www.era.europa.eu/domains/technical-specifications-interoperability_en
2. Directive (EU) 2016/797 of the European Parliament and of the Council of 11 May 2016 on the interoperability of the rail system within the European Union (recast) Електронний ресурс. - Режим доступу: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32016L0797&qid=1699779858157>
3. Czyczula, Włodzimierz. "Sprawdzenie zgodności z wymaganiami TSI Infrastruktura konstrukcji nawierzchni kolejowej-model i przykład obliczeniowy." Zeszyty Naukowo-Techniczne Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji w Krakowie. Seria: Materiały Konferencyjne 2 (109). – 2016.- P.33-46.
4. Commission Regulation (EU)1299/2014 of 18 November 2014 on the technical specifications for interoperability relating to the ‘infrastructure’ subsystem of the rail system in the European Union. Електронний ресурс. - Режим доступу: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=uriserv%3AOJ.L_.2014.356.01.0001.01.ENG
5. EN 15273-3:2013+A1:2016 Railway applications – Gauges – Part 3: structure gauges
6. EN 13803:2017 Railway applications – Track – Track alignment design parameters – Track gauges 1 435 mm and wider
7. EN 13848-5:2017 Railway applications – Track – Track geometry quality – Part 5: Geometric quality levels – Plain line, switches and crossings
8. EN 13848-1:2019 Railway applications – Track – Track geometry quality – Part 1: Characterization of track geometry
9. Інструкція з улаштування та утримання колії залізниць України, Е.І. Даніленко, А.М. Орловський, М.Б. Курган, В.О. Яковлев та інші. – К.: ТОВ «НВП Поліграфсервіс», 2012. – 456 с.:іл.. ЦП-0269, затверджена наказом Укрзалізниці від 01.03.2012 р. №072-Ц.

10. Технічні вказівки щодо оцінки стану рейкової колії за показниками колієвимірювальних вагонів та забезпечення безпеки руху поїздів при відступах від норм утримання рейкової колії. – Затверджено наказом Укрзалізниці від 01.02.2012 р. № 033-Ц. – К.:НВП "Поліграфсервіс", 2012. – 46 с.

11. Правила технічної експлуатації залізниць України. Затверджені наказом Міністерства транспорту України від 20 грудня 1996 р. №411. Зі змінами, внесеними згідно з Наказами Мінтрансу №226 від 08.06.98 р., №386 від 23.07.99 р. №179 від 19.03.2002 р., № 962 від 10.12.2003 р. Електронний ресурс. - Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/z0050-97>.

12. Сайт компанії «Deutsche Bahn AG» Електронний ресурс. Режим доступу: <https://ir.deutschebahn.com/en/home/>

13. Janusz POLIŃSKI. Pojazdy do diagnostyki infrastruktury drogi kolejowej w Niemczech. Prace Instytutu Kolejnictwa – Zeszyt 166 (2020)

14. The RAILab, a Deutsche Bahn track measurement train, passing through the station of Siegburg/Bonn. Електронний ресурс. Режим доступу: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:RAILab_Siegburg.jpg

15. Сайт «Flickr». Електронний ресурс. Режим доступу: <https://www.flickr.com/photos/126584084@N05/25551084084/in/photostream/>

16. Veranstaltung DMG Bezirksgruppe MitteFahrwegmessung bei der DB Netz AG Електронний ресурс. Режим доступу: <https://docplayer.org/11428677-Veranstaltung-dmg-bezirksgruppe-mitte-fahrwegmessung-bei-der-db-netz-ag-db-netz-ag-martin-allweil-i-npi-23-06-03-2014.html>

17. Stencil G. Evaluation of Running Surface of Rails by Measuring Corrugation. Problemy Kolejnictwa – Zeszyt 170. – 2016. – P. 87-93.

18. Arkadiusz Kampczyk. Integracja techniki GPS i metody georadarowej we współczesnych pomiarach inżynierskich. Technika. – Vol. 1-2. – 2010. – P. 61-68.

19. Сайт компанії «Gispro». Електронний ресурс. Режим доступу: <https://www.gispro.pl/>

20. Eurailscout Ultrasoontrein UST-02. Электронный ресурс. Режим доступа: <https://en.treinpositities.nl/foto/176226>
21. Feldmann, Ute & Kreuzer, Edwin & Pinto, Fernando. (2000). Dynamic Diagnosis of Railway Tracks by Means of the Karhunen–Loève Transformation. Nonlinear Dynamics. 22. 183-193. 10.1023/A:1008342520851.
22. DB-Baureihe 612 Электронный ресурс. Режим доступа: https://de.wikipedia.org/wiki/DB-Baureihe_612_%281998%29
23. Efficient maintenance: Monitoring the infrastructure using regularly scheduled trains. Электронный ресурс. Режим доступа: <https://www.db-systemtechnik.de/dbst-de>
24. Kravets, I., Luchko, J., & Kovalchuk, V. (2019). GPR method as a non-destructive method for subgrade monitoring.
25. Памятки ОСЖД. Георадиолокационная диагностика земляного полотна: /О+Р 761/3 / утвдж.: Утверждено на XXVIII заседании Конференции Генеральных директоров (ответственных представителей) железных дорог ОСЖД, 22 – 26 апреля 2013 г., г. Одесса, Украина. – 21 с.
26. Nichoha, V., Shkliarskyi, V., Storozh, V., Matiieshyn, Y., & Vashchyshyn, L.. Metoda strumienia rozproszenia pola magnetycznego w diagnostyce wad szyn kolejowych oraz jej miejsce wśród mobilnych środków badania nieniszczącego. Problemy Kolejnictwa. 2018. – P. 33-47
27. Памятки ОСЖД. Общая концепция построения системы ведения путевого хозяйства на основе комплексной диагностики состояния пути: /Р 793 / утвдж.: Утверждено совещанием Комиссии ОСЖД по инфраструктуре и подвижному составу, 27-30 октября 2015 г., Комитет ОСЖД, г. Варшава, Республика Польша – 18 с.
28. УЗ завершить проектування будівництва євроколії від держкордону Польщі до Львова за підтримки USAID. Сайт агентства «Інтерфакс-Україна» Электронный ресурс. Режим доступа: <https://interfax.com.ua/news/economic/949987.html>

29. EN 13848-1:2019-06 Railway applications - Track - Track geometry quality - Part 1: Characterization of track geometry.
30. EN 13848-2:2021-02 Railway applications - Track - Track geometry quality - Part 2: Measuring systems - Track recording vehicles.
31. EN 13848-3:2022-02 Railway applications - Track - Track geometry quality - Part 3: Measuring systems - Track construction and maintenance machines.
32. EN 13848-4:2023-07 Railway applications - Track - Track geometry quality - Part 4: Measuring systems - Manual and lightweight devices; German and English version prEN 13848-4:2023 / Note: Date of issue 2023-06-02*Intended as replacement for DIN EN 13848-4 (2012-03).
33. EN 13848-5:2017-10 Railway applications - Track - Track geometry quality - Part 5: Geometric quality levels - Plain line, switches and crossings.
34. EN 13848-6:2021-03 Railway applications - Track - Track geometry quality - Part 6: Characterisation of track geometry quality.