

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: Методика оцінки технічного стану хрестовин стрілочних переводів із застосуванням інерційних вимірювальних технологій 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)

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

/ Ігор СОЛОВІЙ /

Керівник:

(підпис)(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

/ проф. Віталій КОВАЛЬЧУК /

Нормоконтролер:

(підпис)(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

/ зав. каф. Олексій ТЮТЬКІН /

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»

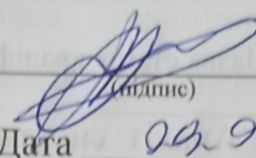
Спеціальність: 273 «Залізничний транспорт»

(шифр та назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

«Транспортна інфраструктура»


(підпис)

Олексій ТЮТКІН
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Дата 04.04.2023

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу

ОС «магістр»

(ступінь вищої освіти)

студенту Соловій Ігорю Васильовичу

(Прізвище, Ім'я По батькові)

1. Тема роботи: «Методика оцінки технічного стану хрестовин стрілочних переводів із застосуванням інерційних вимірювальних технологій відповідно до вимог інтероперабельності»

Керівник роботи: Ковальчук Віталій Володимирович, д.т.н., доцент
(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 українських та європейських норм. Експериментальні вимірювання динамічної взаємодії хрестовини під рухомим складом.

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

Вступ. Розділ 1. Аналіз систем та технологій оцінки технічного стану хрестовин стрілочних переводів. Розділ 2. Вимоги нормативних документів України та Європейського союзу до контролю технічного стану хрестовин стрілочних переводів. Розділ 3. Методика експериментальної оцінки технічного стану хрестовин стрілочних переводів із використанням інерційних вимірювальних систем відповідно до Європейського Союзу. Розділ 4. Рекомендації із проведення оцінки технічного стану хрестовин стрілочних переводів із використанням інерційних вимірювальних технологій. Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):
Презентація за матеріалами досліджень, викладених в магістерській роботі (PowerPoint, 20 слайдів).

6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Завдання видав: (підпис консультанта, дата)	Завдання прийняв: (підпис студента)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітки
1	Розділ 1. Аналіз систем та технологій оцінки технічного стану хрестовин стрілочних переводів.	30.10.2023-19.11.2023	
2	Розділ 2. Вимоги нормативних документів України та Європейського союзу до контролю технічного стану хрестовин стрілочних переводів.	20.11.2023-04.12.2023	
	Розділ 3. Методика експериментальної оцінки технічного стану хрестовин стрілочних переводів із використанням інерційних вимірювальних систем відповідно до Європейського Союзу.	05.12.2023-17.12.2023	
	Розділ 4. Рекомендації із проведення оцінки технічного стану хрестовин стрілочних переводів із використанням інерційних вимірювальних технологій. Висновки. Оформлення ВКР.	18.12.2023-07.01.2024	
	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)

Ігор СОЛОВІЙ
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи

(підпис)

Віталій КОВАЛЬЧУК
(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: Методика оцінки технічного стану хрестовин стрілочних переводів із застосуванням інерційних вимірювальних технологій 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) (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

/ Ігор СОЛОВІЙ /

Керівник:
(підпис)(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

/ проф. Віталій КОВАЛЬЧУК /

Нормоконтролер:
(підпис)(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

/ зав. каф. Олексій ТЮТ'КІН /

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

Студент

(підпис)

Дніпро – 2024 рік

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: Methodology for assessing the technical condition of turnout crossings using inertial measurement technologies in accordance with interoperability requirements

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

Done by the student of the group: IH 2226 / Ihor SOLOVII /
(name, surname)

Scientific Supervisor: / Professor Vitalii KOVALCHUK /
(position, name, surname)

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

Dnipro – 2024

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи магістра:

67 стор., 50 рис., 3 табл., 49 літературних джерел.

Об'єкт розробки – хрестовини стрілочних переводів залізничної колії.

Мета роботи – розробка методики оцінки технічного стану хрестовин стрілочних переводів із застосуванням інерційних вимірювальних технологій відповідно до вимог інтероперабельності та проведення експериментальних досліджень хрестовин.

Метод дослідження – аналіз нормативної документації України та ЄС. Експериментальні вимірювання параметрів динамічної взаємодії системи «рухомий склад-хрестовина» із використанням інерційних вимірювальних технологій.

У магістерській роботі проведено дослідження дефектів хрестовин стрілочних переводів в умовах експлуатації та встановлено найбільш поширенні причини вилучення хрестовин із експлуатації. Проведено аналіз вимог норм Європейського Союзу та України і методів оцінки технічного стану хрестовин стрілочних переводів. Проведено експериментальні вимірювання параметрів динамічної взаємодії системи «рухомий склад-хрестовина» із використанням інерційних вимірювальних технологій. Розроблено рекомендації із оцінки технічного стану хрестовин стрілочних переводів в умовах експлуатації із застосуванням сучасних технічних засобів та технологій. У результаті досліджень встановлено, що при інерційних динамічних випробуваннях хрестовин стрілочних переводів, індикатором оцінки технічного стану хрестовини є величина вертикальних прискорень.

Для підвищення життєвого циклу хрестовин стрілочних переводів необхідно запровадити на залізницях сучасні вимірювальні системи контролю технічного стану хрестовин, які будуть попереджати про погіршення стану хрестовин.

Ключові слова: ХРЕСТОВИНА, СТРІЛОЧНИЙ ПЕРЕВІД, РУХОМИЙ СКЛАДУ ЗАЛІЗНИЦЬ, ІНЕРЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ.

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ І СЛОВНИК ТЕХНІЧНИХ ТЕРМІНІВ

TSI	Технічні специфікації інтероперабельності
EN	Європейські стандарти
СП	Стрілочний перевід
МЦК	Математичний центр хрестовини стрілочного переводу
РШР	Рейко-шпальна решітка.
В	Вусовик
С	Сердечник
DB	Німецькі залізниці
BS	Британські стандарти
ПШ	Пошерстний рух рухомого складу по стрілочному переводу
ПРШ	Протишерстний рух рухомого складу по стрілочному переводу
Стрілочний перевід	Пристрій, який забезпечує зміну руху рухомого складу з однієї колії на іншу
Хрестовина	Конструкція стрілочного переводу, яка забезпечує проїзд коліс рухомого складу у місці перетину рейкових ниток однієї колії іншою. Складається із двох вусовиків та сердечника

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СИСТЕМ ТА ТЕХНОЛОГІЙ ОЦІНКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ХРЕСТОВИН СТРІЛОЧНИХ ПЕРЕВОДІВ	10
1.1. АНАЛІЗ ПРИЧИН ВИХОДУ ХРЕСТОВИН ІЗ ЕКСПЛУАТАЦІЇ	10
1.2. СИСТЕМИ ОЦІНКИ ТА ДІАГНОСТИКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ХРЕСТОВИН СТРІЛОЧНИХ ПЕРЕВОДІВ, ЩО ЗАСТОСОВУЮТЬСЯ НА ЗАЛІЗНИЦЯХ КРАЇН ЄВРОПЕЙСЬКОГО СОЮЗУ	13
1.3. СИСТЕМИ НЕПЕРЕРВНОГО КОНТРОЛЮ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ХРЕСТОВИН СТРІЛОЧНИХ ПЕРЕВОДІВ В УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ	20
Висновки до розділу 1	24
 РОЗДІЛ 2. ВИМОГИ НОРМАТИВНИХ ДОКУМЕНТІВ УКРАЇНИ ТА ЄВРОПЕЙСЬКОГО СОЮЗУ ДО КОНТРОЛЮ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ХРЕСТОВИН СТРІЛОЧНИХ ПЕРЕВОДІВ	 25
2.1. ЗАГАЛЬНІ ВИМОГИ TSI ДО ІНФРАСТРУКТУРИ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ	25
2.2. ВИМОГИ ДИРЕКТИВИ ЄС 2016/797 ДО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТАНУ БЕЗПЕКИ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ	25
2.3. ВИМОГИ НОРМАТИВНИХ ДОКУМЕНТІВ УКРАЇНИ ДО КОНТРОЛЮ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ХРЕСТОВИН СТРІЛОЧНИХ ПЕРЕВОДІВ.....	27
2.4. ВИМОГИ EN 13232 ДО ОСЕРДЯ ХРЕСТОВИН ТИПУ EW 500-1/12	29
2.5. ЗАСТОСУВАННЯ СУЧАСНИХ CAD ПРОГРАМ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ХРЕСТОВИН СТРІЛОЧНИХ ПЕРЕВОДІВ	31
2.6. СУЧАСНІ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ХРЕСТОВИН СТРІЛОЧНИХ ПЕРЕВОДІВ.....	31
Висновки до розділу 2	34

РОЗДІЛ 3. МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ ОЦІНКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ХРЕСТОВИН СТРІЛОЧНИХ ПЕРЕВОДІВ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ІНЕРЦІЙНИХ ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ ВІДПОВІДНО ДО ЄВРОПЕЙСЬКОГО СОЮЗУ 35

3.1. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ ВИМІРЮВАННЯ ДИНАМІЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА ХРЕСТОВИНІ ПРИ ПРОЇЗДІ РУХОМОГО СКЛАДУ ЗАЛІЗНИЦЬ.....	35
3.2. ОПИС КОНСТРУКЦІЇ ХРЕСТОВИН ТА ДІЛЯНКИ ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ДИНАМІЧНОЇ ВЗАЄМОДІЇ ХРЕСТОВИН ТА РУХОМОГО СКЛАДУ	36
3.3. МЕТОДИКА ПІДГОТОВКИ ХРЕСТОВИНИ ДО ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ІНЕРЦІЙНИХ ВИПРОБУВАНЬ	39
3.4. ПРОВЕДЕННЯ ЗАПИСІВ ПРИСКОРЕНЬ ІНЕРЦІЙНОЮ СИСТЕМОЮ.....	41
3.5. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ВИПРОБУВАНЬ ХРЕСТОВИНИ.....	41
Висновки до розділу 3	47

РОЗДІЛ 4. РЕКОМЕНДАЦІЇ ІЗ ПРОВЕДЕННЯ ОЦІНКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ХРЕСТОВИН СТРІЛОЧНИХ ПЕРЕВОДІВ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ІНЕРЦІЙНИХ ВИМІРЮВАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЙ 49

4.1. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ МЕТОДИКИ ПОТОЧНОГО УТРИМАННЯ ХРЕСТОВИН СТРІЛОЧНИХ ПЕРЕВОДІВ В УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ	49
4.2. СИСТЕМИ ОЦІНКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ХРЕСТОВИН СТРІЛОЧНИХ ПЕРЕВОДІВ В УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ	52
4.3. МЕТОДИКА ОЦІНКИ ТРАЄКТОРІЇ РУХУ КОЛЕСА РУХОМОГО СКЛАДУ ПО ХРЕСТОВИНІ	55
4.4. МЕТОДОЛОГІЯ ЗАСТОСУВАННЯ ІНЕРЦІЙНИХ ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ ДЛЯ ОЦІНКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ХРЕСТОВИН СТРІЛОЧНИХ ПЕРЕВОДІВ	56
4.5. СТРАТЕГІЯ ПЛАНУВАННЯ РОБІТ ЗА ПОТРЕБОЮ МЕТОДОМ ВПРОВАДЖЕННЯ ІНЕРЦІЙНИХ ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ.....	59
Висновки до розділу 4	61

ВИСНОВКИ.....	62
СПИСОК ЛІТЕРАТУРА.....	63

ВСТУП

Реформування залізничного транспорту направлено на удосконалення мережі залізничних перевезень, покращення технічного стану інфраструктури та рухомого складу, збільшення пропускної та провізної здатностей залізниці, запровадження передових методів та засобів контролю та оцінки технічного стану залізниці. Проте, на даний час є недостатньо інформації про фактичний стан інфраструктури залізниць. Це стосується і стрілочних переводів, які експлуатуються у специфічних умовах роботи залізниці, у порівнянні із звичайною рейковою колією.

Актуальність теми. Найменший життєвий цикл роботи має хрестовина стрілочного переводу. Оскільки через особливості конструкції вона зазнає значних динамічних навантажень від рухомого складу залізничного транспорту. У результаті це впливає, у багатьох випадках, на передчасний вихід хрестовин стрілочних переводів із експлуатації, не досягнувши нормативного терміну експлуатації.

З метою збільшення ресурсу хрестовин необхідно розробляти дієві заходи, які будуть спрямовані на попередження їх передчасного виходу із експлуатації. Одним із індикаторів зміни технічного стану хрестовин є підвищення динамічної взаємодії: збільшення сил удару при проїзді рухомого складу, підвищення амплітуди коливань та величини прискорень.

У результаті застосування комплексної системи оцінки моменту зміни технічного стану хрестовин призведе до підвищення її життєвого циклу. Це можна зробити із застосуванням сучасних інерційних вимірювальних технологій, які будуть попереджати про погіршення технічного стану хрестовин, і у результаті виконання упереджувальних робіт (виконання наплавки, шліфовки, підбивки щебеню під хрестовинним вузлом), що призведе до продовження життєвого циклу хрестовин стрілочного переводу.

Отже, проблема розробки сучасних методів контролю та оцінки технічного стану хрестовин стрілочних переводів є актуальною задачею магістерської роботи.

Мета роботи. Метою магістерської роботи є розробка методики оцінки технічного стану хрестовин стрілочних переводів із застосуванням інерційних вимірювальних технологій відповідно до вимог інтероперабельності та проведення експериментальних досліджень хрестовин.

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

- провести дослідження дефектів хрестовин стрілочних переводів в умовах експлуатації та встановити найбільш поширенні причини вилучення хрестовин із експлуатації;

- провести аналіз вимог норм Європейського Союзу та України і методів оцінки технічного стану хрестовин стрілочних переводів;

- провести експериментальні вимірювання параметрів динамічної взаємодії «рухомий склад-хрестовина» із використанням інерційних вимірювальних технологій;

- розробити рекомендації оцінки технічного стану хрестовин стрілочних переводів в умовах експлуатації із застосуванням сучасних технічних засобів та технологій.

Об'єкт дослідження – хрестовини стрілочного переводу залізничної колії.

Предмет дослідження – методика оцінки технічного стану хрестовин стрілочних переводів за допомогою інерційних вимірювальних технологій.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ СИСТЕМ ТА ТЕХНОЛОГІЙ ОЦІНКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ХРЕСТОВИН СТІЛОЧНИХ ПЕРЕВОДІВ

1.1. Аналіз причин виходу хрестовин із експлуатації

Збільшення ділянок колії, де запроваджується прискорений рух поїздів та підвищення осьового навантаження, вимагають впровадження інноваційних підходів до підвищення безпеки руху поїздів методами оперативного контролю зміни технічного стану та виконання жорсткіших вимог, щодо утримання залізничної інфраструктури. Також слід зазначити, що на даний час технічний стан інфраструктури залізниць потребує більш оперативного контролю, з метою попередження передчасного виходу конструкцій із експлуатації.

Проте велика кількість робіт проводиться методами візуального огляду та, два рази на місяць, вагоном колієвимірювачем. Проте цього не завжди є достатньо для оцінки технічного стану хрестовин стрілочних переводів. Стратегія розвитку залізничного транспорту повинна передбачати запровадження комплексного підходу до оцінювання технічного стану хрестовин стрілочних переводів із використанням сучасних методів та технологій діагностики хрестовин стрілочних переводів із графікових поїздів в умовах експлуатації. Це дасть змогу:

- підвищити достовірність отриманих даних та їх ідентифікацію;
- збільшити пропускну спроможність дільниць залізниці;
- виконувати збір вимірних даних та вести статистику їх зміни протягом життєвого циклу роботи хрестовин в умовах експлуатації.

Запровадження такого комплексного підходу призведе до планування поточних робіт щодо утримання хрестовин стрілочних переводів та правильний розподіл коштів. Крім цього, якщо діагностику робити за допомогою проїзду графікових поїздів, то це призведе до скорочення контрольних поїздок діагностичних засобів оцінки технічного стану колій.

У межах магістерської роботи, об'єктом досліджень є хрестовини стрілочних переводів. Вони працюють у специфічних умовах експлуатації та мають малі терміни служби. У багатьох випадках не досягають гарантійного напруцювання на відмову. Основною конструкцією залишається конструкція хрестовини із нерухомим осердям (рис. 1.1).



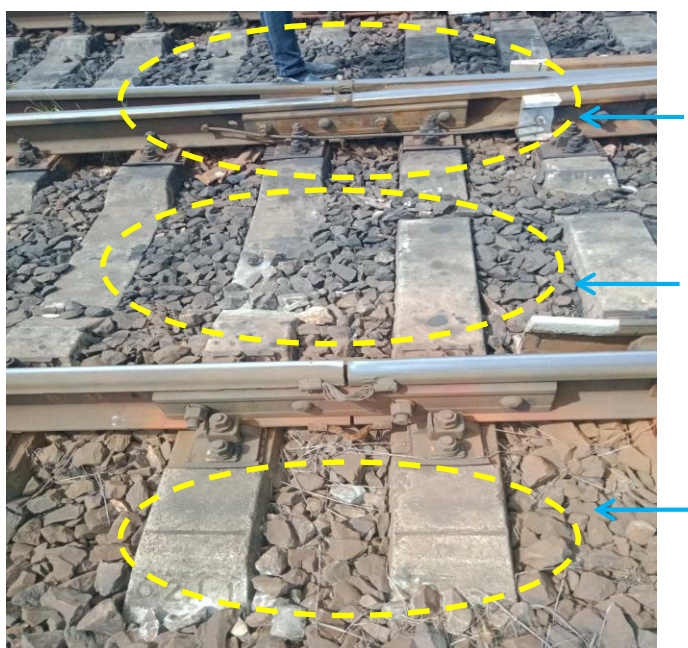
Рисунок 1.1 – Найбільш поширена хрестовина на залізницях України

Дослідження експлуатаційної стійкості елементів стрілочних переводів, які наведені у праці [1], показали, що хрестовини передчасно виходять із експлуатації. Основними причинами виходу є вертикальний знос осердя хрестовини та вертикальний знос вусовика хрестовини. Також зустрічаються випадки викришування металу на поверхні кочення вусовика і осердя хрестовини у місці перекочування колеса із вусовика на осердя і навпаки, через підвищену динамічну дію (рис. 1.2), у результаті виникають дефекти виду ДС.14, ДУ.14.



Рисунок 1.2 – Злом бруса у хрестовинному вузлі через підвищену динамічну дію при взаємодії рухомого складу із хрестовиною

Сліди на баластному шарі у хрестовинному вузлі через підвищену динамічну дію рухомого складу на хрестовину (рис. 1.3).



Сліди тертя
щебинок баласту
через підвищену
динамічну дію РС

Рисунок 1.3 – Сліди тертя щебинок баласту у зоні хрестовинного вузла

Також зустрічаються дефекти виколювання металу по лінії врізання на головці рейки через недоліки конструкції хрестовини ДУ.12.5, викришування наплавленого шару металу литої частини вусовика і осердя (ДС.18, ДУ.18) (рис. 1.4).

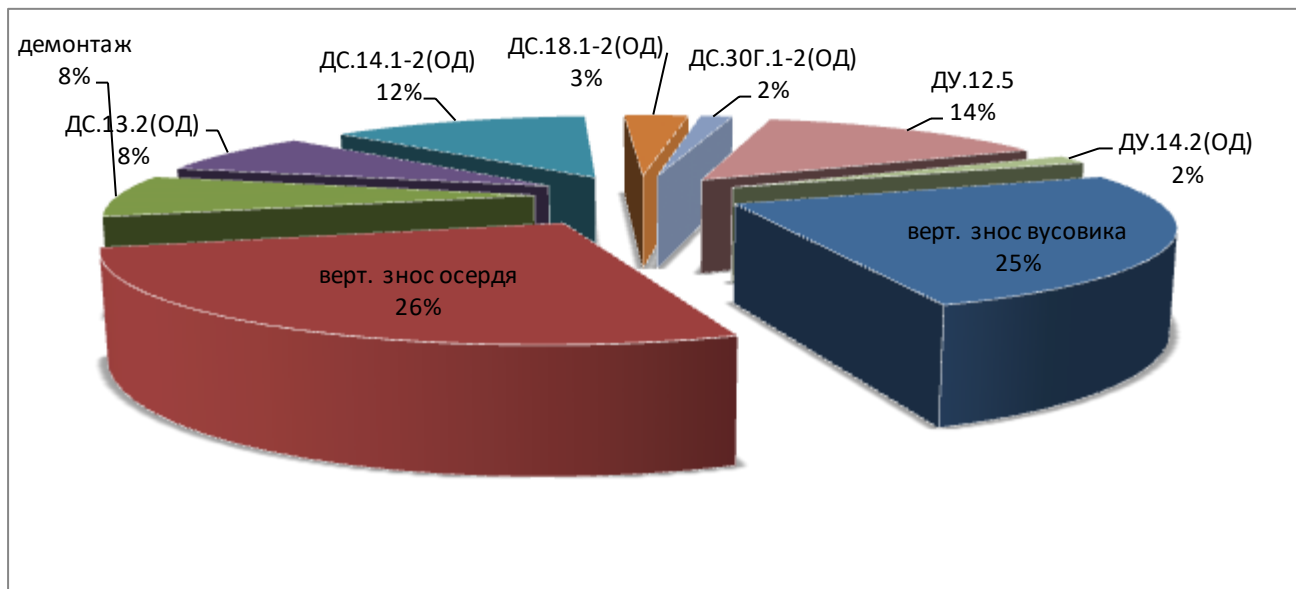


Рисунок 1.4 – Розподіл причин передчасного виходу хрестовин стрілочних переводів із експлуатації

Із рис. 1.4 видно, що більше 50 % від причин виходу хрестовин із експлуатації є причини вертикального зносу осердя та вусовиків хрестовини. 30 % – це причини пов’язані із викришуванням осердя та вусовиків та 20 % становлять інші дефекти хрестовин [1].

Для вчасного виявлення та попередження розладнання хрестовин стрілочних переводів необхідно застосовувати автоматизовані системи контролю та технічної діагностики.

1.2. Системи оцінки та діагностики технічного стану хрестовин стрілочних переводів, що застосовуються на залізницях країн Європейського Союзу

На сьогоднішній день є ряд досліджень ефективності застосування автоматизованих вимірювальних систем для оцінки технічного стану конструкцій стрілочного переводу. Про це свідчать результати досліджень авторів, що опубліковані у працях [1-16]. Упровадження систем діагностики та моніторингу у стратегічній перспективі закладає діджиталізацію залізничного

транспорту. Крім цього наявність простих і надійних засобів контролю технічного стану призводить до підвищення надійної експлуатації залізничної інфраструктури. Одними із перспективних методів є застосування вимірювальних технологій, що базуються на застосуванні технологіях МЕМС.

У результаті, країни Європейського Союзу через значні витрати коштів, які пов'язані із частими замінами хрестовин стрілочних переводів, розробляють системи діагностики та попередження розвитку дефектів та несправностей хрестовин в умовах експлуатації. До передових країн відноситься Німеччина, яка розробляє сучасні системи діагностики хрестовин. Також є ряд відомих технологій, що використовуються на залізницях Європейського Союзу при діагностиці хрестовин стрілочних переводів. Компанією DB Netz AG для вимірювання динамічної взаємодії колії та рухомого складу використовуються системи ESAH-F та ESAH-M [1-3]. Принципова схема системи ESAH-F наведена на рис. 1.5, а системи ESAH-M на рис. 1.6.

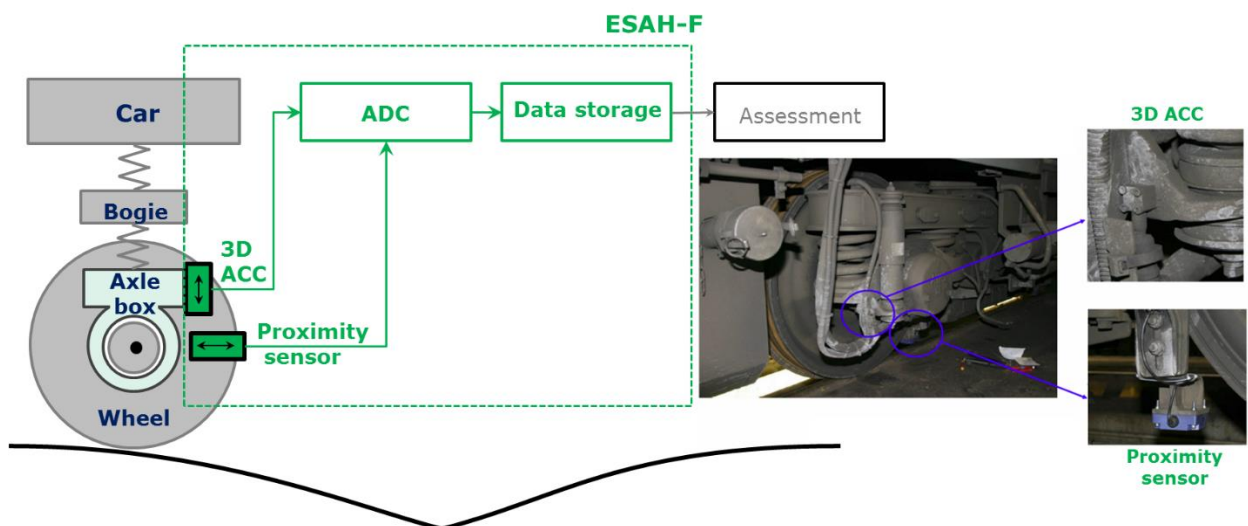


Рисунок 1.5 – Вигляд системи ESAH-F встановленої на рухомому складі залізничного транспорту

Датчик прискорень, що входить у склад системи ESAH-F встановлюється на рухомому складі. Його кріплять на буксі колісної пари. Тільки при русі рухомого складу відбувається запис динамічної взаємодії колії та рухомого складу.

У результаті руху по хрестовині, колесо проходить різні ділянки по довжині хрестовини. Виникає певна геометрична лінія контакту колеса і рейки у певних перетинах хрестовини. І за рахунок цього формується вертикальна траєкторія руху колеса по хрестовинному вузлі [17, 18].

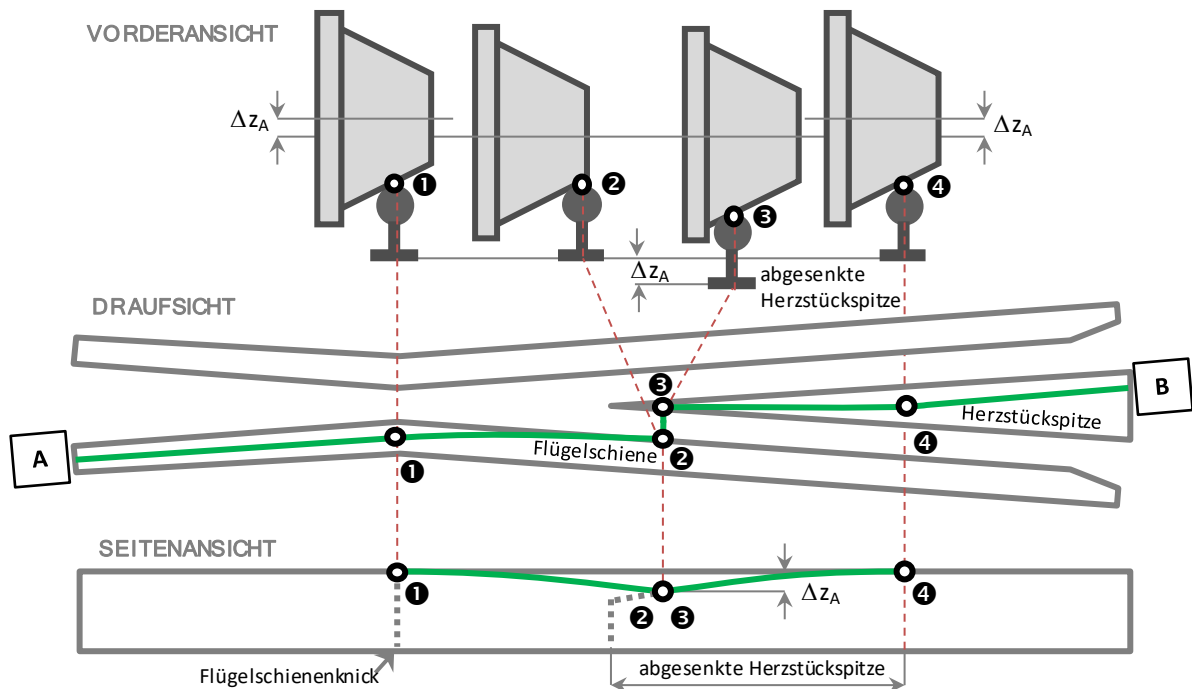


Рисунок 1.6 – Параметри геометричної лінії контакту колеса і хрестовини у хрестовинному вузлі: конструкція та знос

Із рис. 1.6 видно, що при русі колеса із точки A до точки B відбувається переміщення точки контакту колеса та рейки з початку вигину вусовика (горла хрестовини) горизонтально у зовнішньому напрямку. І в результаті колесо опускається, має складну траєкторію руху по хрестовині. У точках 2-3 колесо поступово вертикально опускається через свою конусність і досягає свого найглибшого положення у вертикальній площині. Далі колесо знову переміщається у вертикальному та бічному напрямку і ближче до точки B досягає свого початкового положення. Слід зазначити, що траєкторія руху колеса по хрестовині є складною, оскільки колесо проходить конструктивну нерівність, що пов'язано із особливостями конструкції хрестовини та крім цього

у випадку зносу осердя та вусовиків хрестовини, колесо додатково буде проходити нерівність із збільшеними параметрами довжини та глибини нерівності.

У результаті формується вертикальна траєкторія руху колеса по хрестовині, що пов'язана тільки із особливостями конструкції хрестовини, це зелена лінія на рис.1.7 та траєкторія руху, що пов'язана із зносом хрестовини, це лінія синя на рис. 1.7.

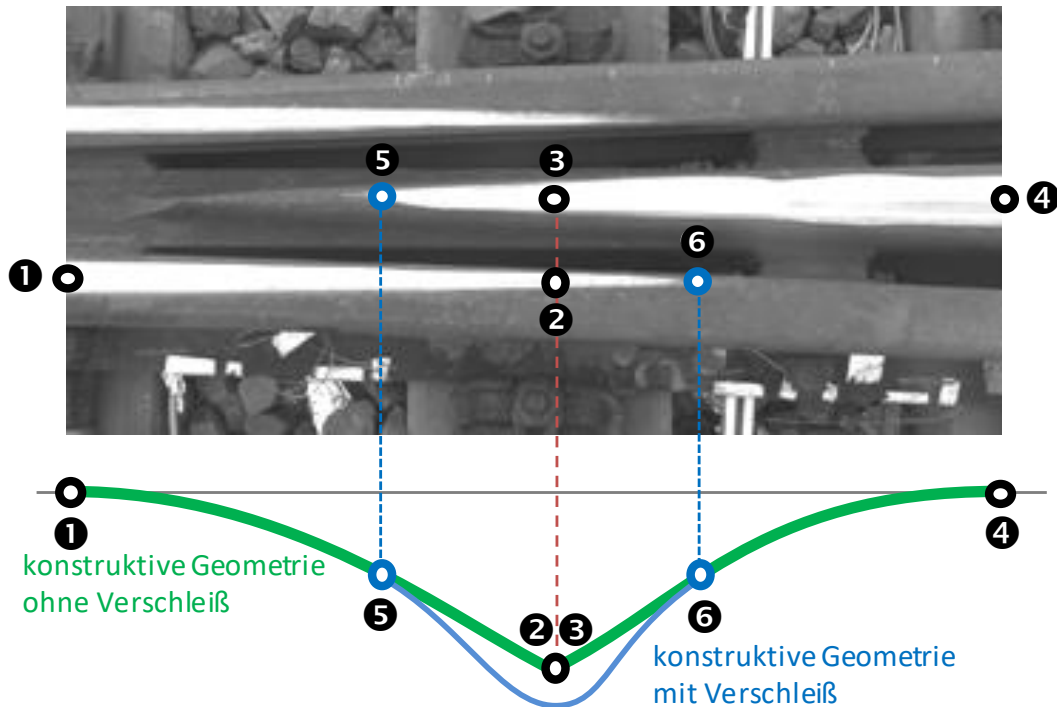


Рисунок 1.7 – Параметри траєкторії руху колеса по хрестовині без зносу та по хрестовині із зносом

У загальному конструкція хрестовини та пропущений тоннаж, який буде впливати на знос вусовиків та осердя хрестовини впливають на термін експлуатації хрестовин. Дуже важливим є недопущення значного зносу. Для цього необхідно застосовувати системи контролю, які будуть попереджати про зміну технічного стану хрестовин. У Європейських країнах це є системи ESAH-F та ESAH-M.

Результати запису прискорень із системи ESAH-F наведено на рис. 1.8.

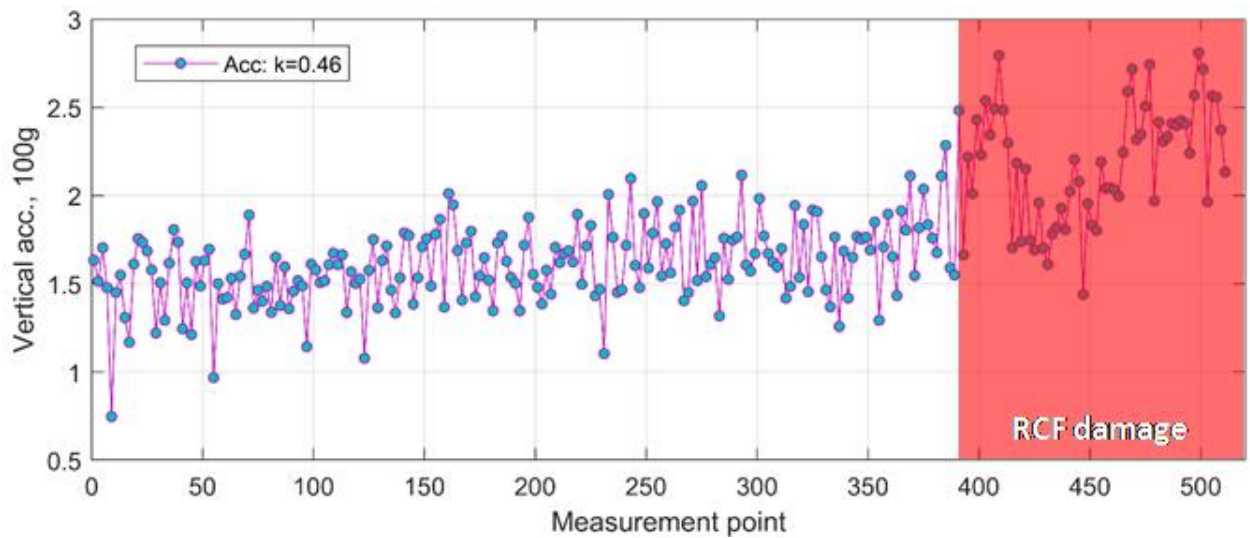


Рисунок 1.8 – Результати запису прискорень із системи ESAH-F

Як бачимо від 400 до 500 точок спостерігається різка зміна прискорень. Це пов'язано із геометричними нерівностями на хрестовині, які формуються у процесі експлуатації хрестовини (знос хрестовини) та із особливостями конструкції хрестовини.

Крім цього слід зазначити, що отримані дані прискорень дозволяють проводити теоретичну обробку сигналу прискорень із встановленням часового ряду вертикального прискорення і їх вейвлет-діаграми вздовж координати колії для однієї осі. У роботі [19] проведено обробку виміряного сигналу прискорень із використанням вейвлет перетворень. Для цього виділено 3 групи:

1. Особливості часової області;
2. Вейвлет спектральні характеристики;
3. Особливості спектрального ексцесу.

Для цього використано максимальне прискорення, як показник зміни технічного стану звичайного стрілочного переводу [19].

У результаті встановлено часову область і спектральні особливості вертикального прискорення (вгорі) і вейвлет-коефіцієнтів (внизу), що наведено на рис. 1.9.

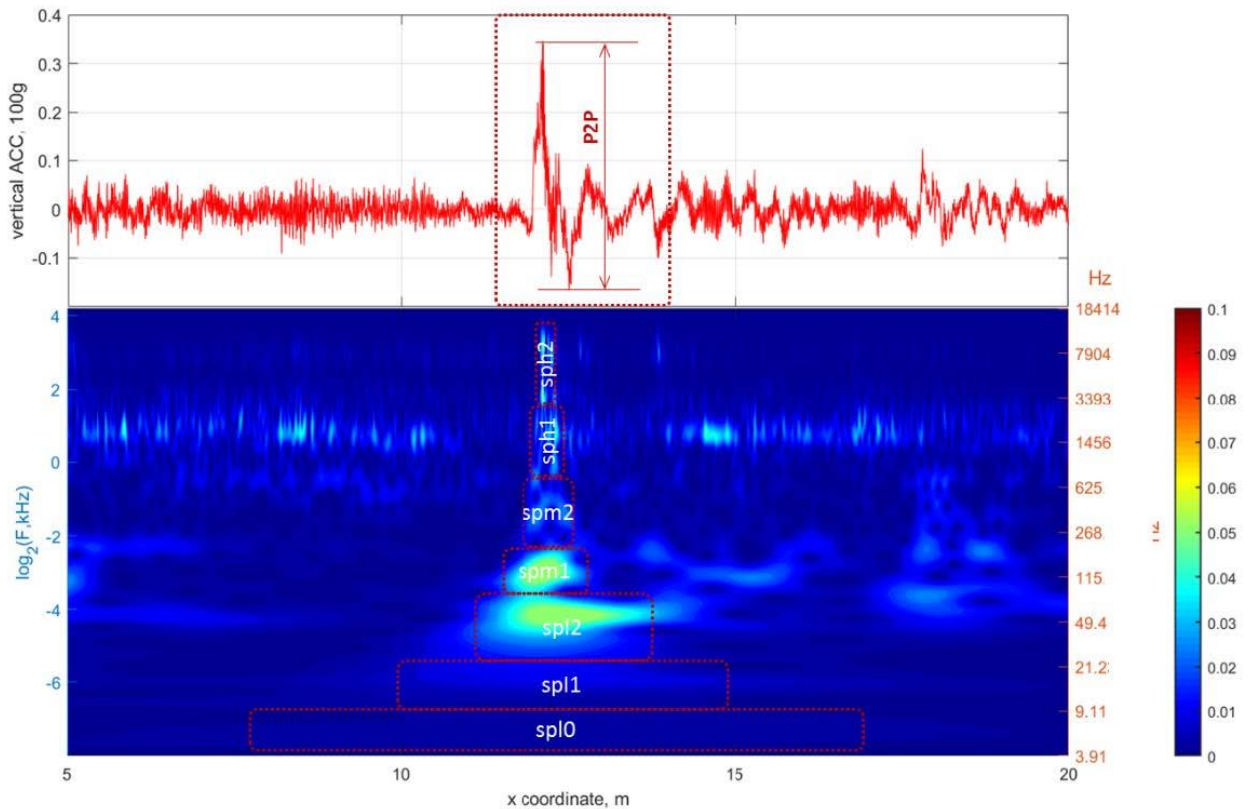


Рисунок 1.9 – Часова область і спектральні особливості вертикального прискорення (вгорі) і вейвлет-коефіцієнтів (внизу)

Слід зазначити, що протягом експлуатації хрестовини, величина сигналу змінюється. Тому згідно праць [20, 21] використовуються часові межі та форми сигналу за допомогою використання спеціальних функцій програмного забезпечення Matlab.

Проте слід зазначити, що проведення вимірювань по такому принципу призводить до значної складової ручної роботи. А саме, виміряні дані зберігаються у пам'яті пристрою і для їх аналізу необхідно виконати обробку даних. Проте, складність полягає у тому, ще потрібно співставити стрілочні переводи по яких відбувався проїзд рухомого складу. У більшості випадків це трудомістка робота.

При ідентифікації хрестовин за допомогою системи ESAH-F можна встановити (попередити) розвиток дефектів та пошкоджень хрестовини.

Оскільки на графіку динамічної взаємодії буде виникати різке підвищення величини прискорень.

Система ESAH-M (рис. 1.10) характеризується принципом роботи, який полягає в оцінці параметрів динамічної взаємодії колії та рухомого складу при проведенні вимірювань стаціонарно.

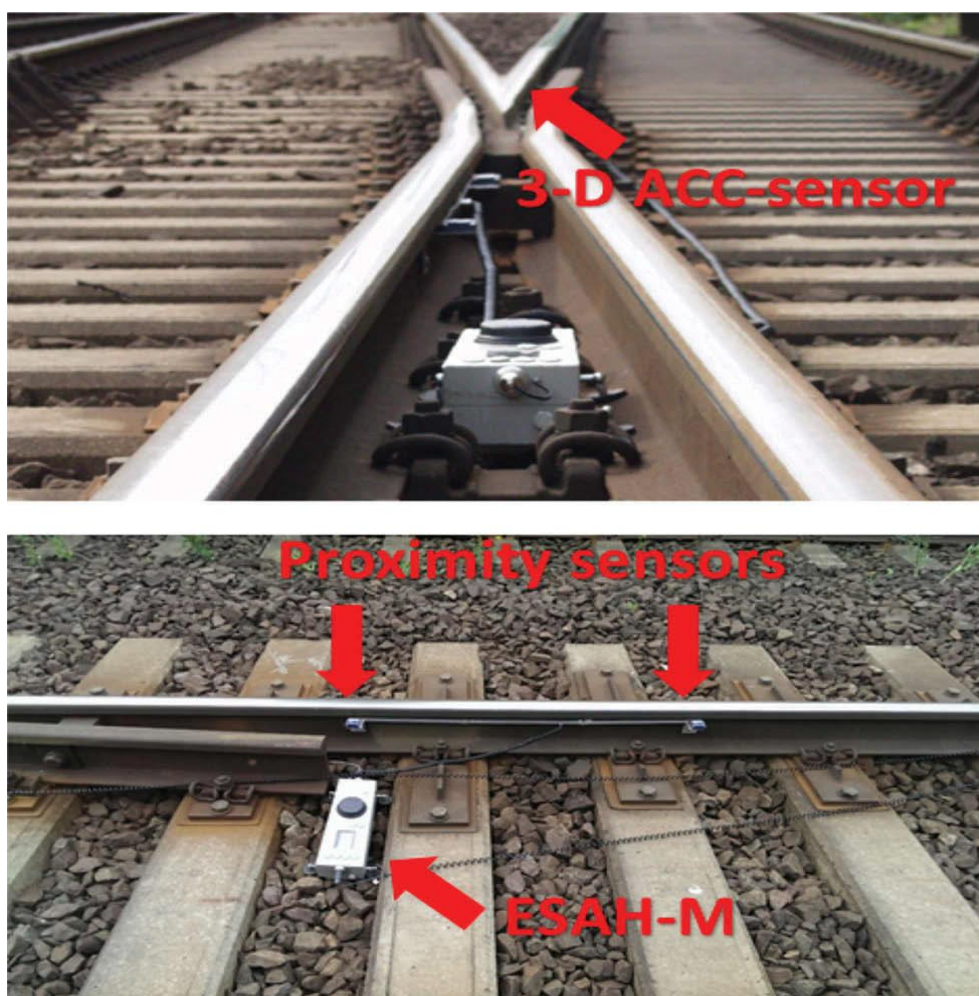


Рисунок 1.10 – Система ESAH-M в умовах експлуатації [22]

Тобто датчик прискорень, що входить у дану систему встановлюється на сердечнику хрестовини. У результат можна точно ідентифікувати хрестовину і досить швидко, у порівнянні із системою ESAH-F реагувати на зміну технічного стану досліджуваної хрестовини. Однак, слід зазначити, що встановлення окремої системи тільки на одному стрілочному переводі також має негативні наслідки, що пов'язано із необхідністю встановлення великої кількості систем.

Скажімо, для однієї станції, якщо ставити системи тільки по головному ходу вже вимагатиме встановлення біля десятка таких систем.

Системою ESAH-M можна виміряти прискорення, що виникають у хрестовині у трьох площинах. Оскільки датчик прискорень є триосьовим. Крім цього у дану систему входять датчики потенціометри, які дозволяють вимірювати швидкість руху рухомого складу по хрестовині.

Із досвіду проведення вимірювань записів динамічної взаємодії хрестовини із рухомим складом системами ESAH-F та ESAH-M встановлено, що значне відхилення виміряних даних. В експериментальному дослідженні [23] основних параметрів стрілочного переводу із застосуванням вимірювальної системи ESAH-M, розрахований коефіцієнт варіації при виміряних прискорень може досягати $CV=63\%$, що визначається, як співвідношення стандартного відхилення σ від середнього μ і описує дисперсію вимірювань. Чим більше CV , тим більша похибка вимірювання. Значна варіація $CV=63\%$ вказує на широкий діапазон неврахованих факторів, що впливають на результати вимірювання. Такими факторами є погіршення технічного стану хрестовини в умовах експлуатації, вертикальний знос осердя та вусовиків хрестовини, знос колеса рухомого складу, бокове положення колеса при в'їзді на хрестовинний вузол. Слід зазначити, що у працях [24, 25] встановлено, що вібрації, що виникають від удару колеса, згасають на поверхні конструкцій. Ці особливості впливають на достовірність отриманих даних із систем діагностики і слід признати, що не завжди є можливість отримати достовірні дані розподілу прискорень у хрестовині у залежності від зносу хрестовини.

1.3. Системи неперервного контролю технічного стану хрестовин стрілочних переводів в умовах експлуатації

Сучасними пристроями діагностики хрестовин стрілочних переводів є застосування знімних пристроїв, які обслуговує оператор і вони дозволяють проводити оцінку технічного стану хрестовини по всій її довжині.

Процес діагностики такими пристроями наведено на рис. 1.11.



Рисунок 1.11 – діагностика хрестовин стрілочних переводів із використанням пристроїв неперервної діагностики

На залізницях США, для оцінки технічного стану хрестовин стрілочних переводів успішно застосовується система (ATGMS) ENSCO Rail [26]. Робочий вигляд системи наведено на рис. 1.12.



Рисунок 1.12 – Система (ATGMS) ENSCO Rail (США) [26]

Також ефективним методом оцінки технічного стану хрестовин стрілочних переводів є застосування профілографів (рис. 1.13).

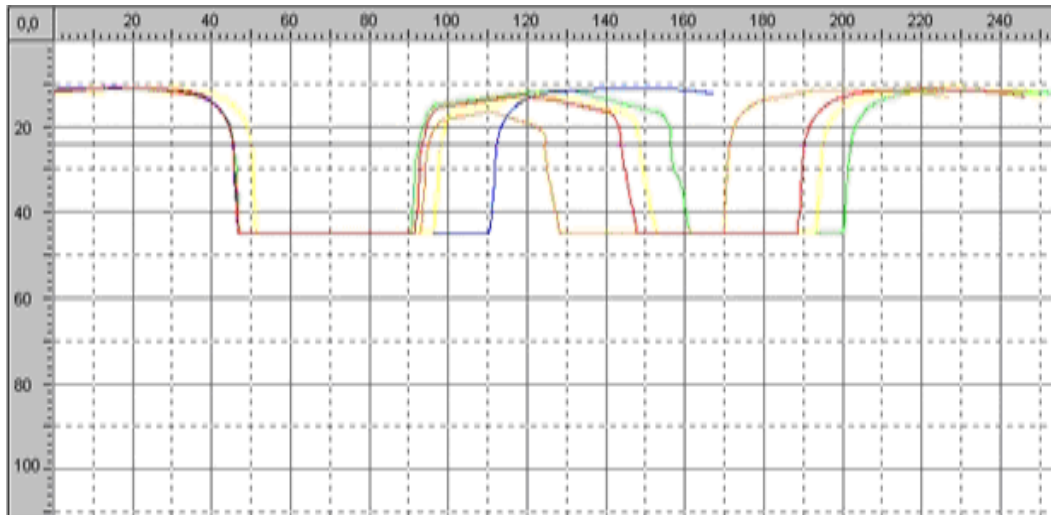
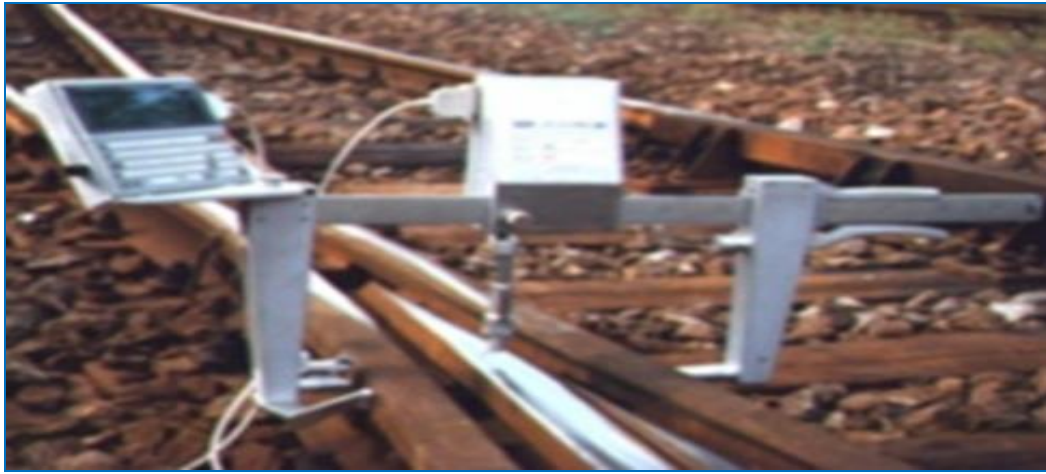


Рисунок 1.13 – Застосування профілографів для контролю технічного стану хрестовин

За допомогою профілографів можна оцінити як вертикальний так і горизонтальний зноси хрестовини стрілочних переводів.

У працях [27, 28] авторами запропоновано автоматизований профілограф (рис. 1.14) для вимірювання поперечного профілю хрестовин стрілочних переводів. Також його використовують для вимірювання параметрів слідів ударів на залізобетонних шпалах, які виникають при сході рухомого складу.

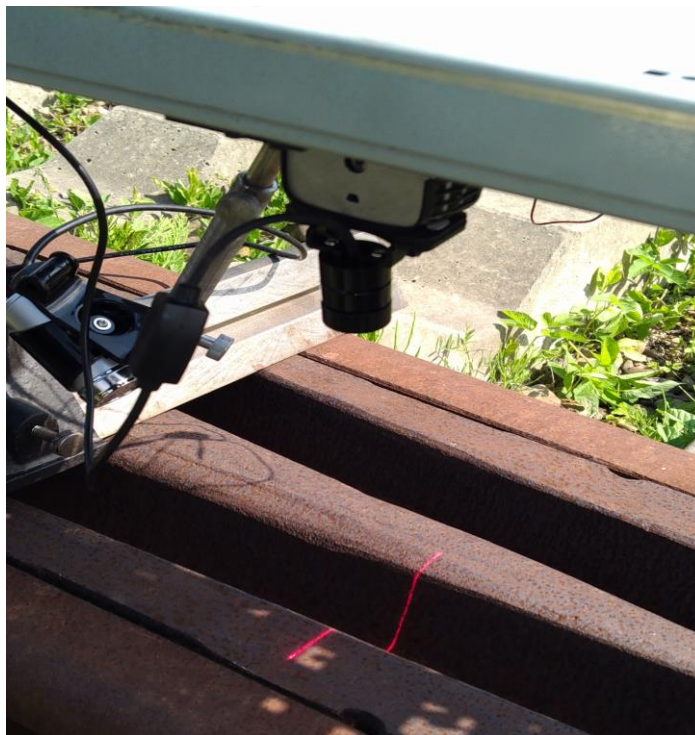


Рисунок 1.14 – Профілограф для вимірювання поперечного профілю хрестовини стрілочних переводів

Даний профілограф методом лазерного променя і його фіксації високороздільною цифровою фотокамерою дозволяє провести сканування площини та визначити просторове положення точок поверхні площини в цілому. Отримання поверхні хрестовини дає змогу виконати математичне моделювання руху колеса по хрестовині, що дозволить оцінити особливості роботи хрестовини в умовах експлуатації.

Наведені системи та пристрої для діагностики та інструментального контролю технічного стану хрестовини дозволяють визначати стан хрестовин стрілочних переводів. Однак, більшість із них вимагає ручної роботи та займає багато часу. Ці пристрої можна використовувати при плановій діагностиці хрестовин. Однак, у багатьох випадках потрібно мати дані технічного стану хрестовини швидше, з метою попередження розвитку пошкоджень та дефектів у сердечнику та вусовику хрестовини. Тому це вимагає застосування систем контролю технічного стану хрестовин, які будуть робити моніторинг і при

необхідності попереджати про погіршення технічного стану хрестовин стрілочних переводів.

Висновки до розділу 1

Із проведеного аналізу причин вилучення хрестовин стрілочних переводів із експлуатації та сучасних систем оцінки технічного стану хрестовин отримано наступні висновки:

1. Основною причиною вилучення хрестовин із експлуатації є вертикальний знос осердя та вусовиків хрестовини, які складають більше 50 % від суми всіх причин вилучення хрестовин.

2. Для продовження терміну служби хрестовин в умовах експлуатації потрібно застосовувати сучасні системи діагностики, які дозволяють попереджувати експлуатаційну організацію про зміну технічного стану хрестовин.

3. Для розробки ефективної системи контролю та діагностики хрестовин стрілочних переводів, методом інерційних вимірювань прискорень, потрібно спочатку даною системою зібрати статистичні дані і далі встановити критерії, які будуть відповідати за індикатор зміни технічного стану хрестовин.

РОЗДІЛ 2

ВИМОГИ НОРМАТИВНИХ ДОКУМЕНТІВ УКРАЇНИ ТА ЄВРОПЕЙСЬКОГО СОЮЗУ ДО КОНТРОЛЮ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ХРЕСТОВИН СТІЛОЧНИХ ПЕРЕВОДІВ

2.1. Загальні вимоги TSI до інфраструктури залізничного транспорту

Технічні специфікації інтероперабельності TSI встановлюють вимоги до підсистем: інфраструктури, рухомого складу та технічного обслуговування, експлуатації та управління рухом поїздів, енергетики, управління та сигналізації.

Європейське залізничне агентство (ERA) відповідає за координацію розвитку TSI. Відповідно ERA проводить та координує робочі групи. Ці робочі групи працюють окремо у залежності від підсистеми із експертів та органів влади.

Вимоги TSI є обов'язковими до виконання усіма державами-членами для новостворених або модифікованих підсистем залізничного транспорту. Є винятки для систем метрополітену, трамваю та регіональних залізниць. Також є винятки для залізничної мережі, яка використовується лише для місцевого та міського транспорту, до приватної залізничної інфраструктури та транспортні засоби, які використовуються лише у приватній інфраструктурі для вантажних перевезень.

2.2. Вимоги директиви ЄС 2016/797 до забезпечення стану безпеки на залізничному транспорті

Директива Європейського Союзу 2016/797 [29] визначає передумови сумісності та оптимального рівня технічної гармонізації залізничної системи ЄС із іншими країнами.

Технічні умови, що діють у ЄС повинні застосовуватися під час виконання всіх видів робіт, що пов'язані із залізничним транспортом. Починаючи від проектування, будівництва та здавання об'єктів залізничного транспорту в постійну експлуатацію.

Слід зазначити, що технічні умови повинні виконуватися також при модернізації, оновленні, експлуатації та обслуговуванні підсистем залізничного транспорту. У результаті кінцевою вимогою є забезпечення умов охорони здоров'я та безпеки обслуговуючого персоналу та підвищення стану безпеки при експлуатації залізничного транспорту.

Об'єкти залізничного транспорту, які створюються (проєктуються, будуються та експлуатуються) повинні відповідати діючим нормативним документам та положенням законодавства країн Європейського Союзу. При цьому забезпечується рівноправність всіх держав – членів країн Європейського Союзу [29].

Слід зазначити, що ключовою вимогою ЄС, яка закладена у Директиві 797 [29], є забезпечення безпеки руху рухомого складу залізничного транспорту. У зв'язку із цим, важливим фактором є своєчасне ухвалення рішення про доцільність продовження використання існуючих проєктів хрестовин стрілочних переводів, впровадження дослідних конструкцій стрілочних переводів та впровадження систем моніторингу технічного стану стрілочних переводів. Саме системи моніторингу націлені на продовження терміну експлуатації стрілочних переводів та підвищення стану безпеки залізничного транспорту.

На рис. 2.1 наведено хрестовину стрілочного переводу EW 500-1:12, що експлуатується на залізницях Німеччини. На неї встановлена стаціонарна система моніторингу технічного стану хрестовин.

У праці [30] зазначено, що розробка перспективних заходів, які сприяють продовженню терміну служби хрестовин стрілочних переводів в умовах експлуатації дозволяє значно скоротити витрати коштів на стрілочне господарство. Підвищення терміну служби хрестовин стрілочних переводів тільки на 5 % може надати економію коштів понад 10 млн. грн. на рік.

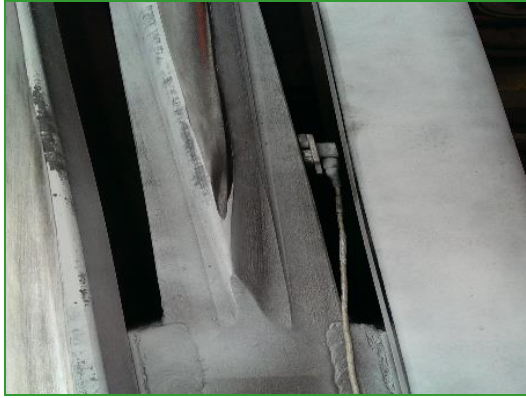


Рисунок 2.1 – Встановлена система моніторингу технічного стану хрестовини EW 500-1:12 в умовах експлуатації на залізницях Німеччини

Результати наростання сил динамічної взаємодії при русі колеса по хрестовині стрілочного переводу (рис. 2.2).

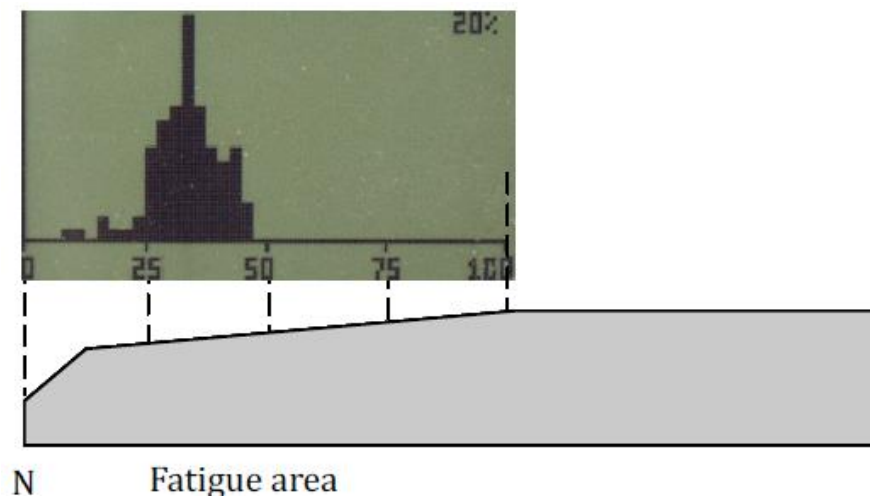


Рисунок 2.2 – Максимальна концентрація сил ударів у сердечнику хрестовини

2.3. Вимоги нормативних документів України до контролю технічного стану хрестовин стрілочних переводів

Відповідно до нормативних документів [31-34], які діють на залізницях України, до хрестовин стрілочних встановлені норми контролю технічного стану. Вертикальний знос сердечника гострої хрестовини (рис. 2.3) вимірюється посередині поверхні катання у перерізі 40 мм.

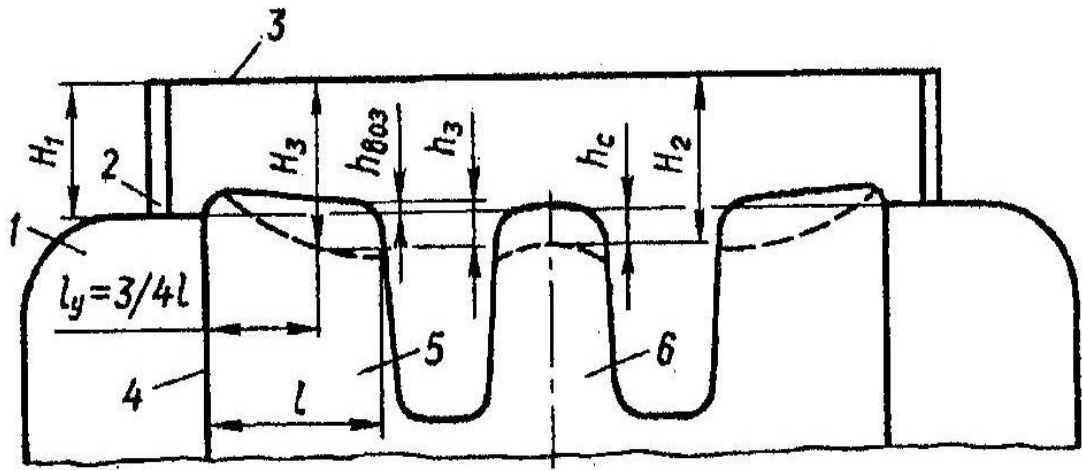


Рисунок 2.3 – Схема до вимірювання вертикального зносу елементів гострих хрестовин стрілочних переводів: 1 – незношувана частина вусовиків; 2 – розрахунковий рівень кочення колеса рухомого складу; 3 – база вимірювального приладу; 4 – лінія врізання литої частини вусовика у збірних хрестовинах (початок технологічної полицки в суцільнолитих хрестовинах); 5 – зношувана частина вусовика; 6 – сердечник хрестовини

Відповідно до [33, 35], допустимі величини зносу вусовиків та сердечника хрестовин стрілочних переводів, при яких хрестовини рекомендується наплавляти наведено у табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Норми допустимого зносу хрестовин

Тип стрілочного переводу	Норма зносу хрестовин, мм						Станційні, під'їзди та та інші колії
	Головні колії при швидкості руху рухомого складу, км/год					Головні колії при швидкості руху 40 км/год і менше та приймально- відправні колії	
	121-140	101-120	81-100	61-80	41-60		

P65		5	6	6	8	10	12
P50	5	5	6	6	8	10	12

При проведенні наплавки хрестовин відповідно за допустимих зносах сердечників та вусовиків, які наведені у табл. 2.1 призведе до підвищення терміну служби хрестовин стрілочних переводів в умовах експлуатації. Однак слід зазначити, що вчасне виявлення допустимих норм зносу є клопіткою роботою поточного утримання стрілочних переводів. Тому більш перспективним напрямом встановлення зносу хрестовин є запровадження систем контролю технічного стану хрестовин. Системи повинні передбачати і давати інформацію про збільшення величин зносу металевих частин стрілочних переводів. Цим питанням, якраз і займаються інформаційні відділи залізниць Європейського Союзу.

2.4. Вимоги EN 13232 до осердя хрестовин типу EW 500-1/12

Європейські норми EN 13232 висувають норми до геометрії стрілочних переводів. Технічний стан стрілочних переводів повинен бути таким, щоб, перше – забезпечити пропуск поїздів із максимально встановленими швидкостями руху для конкретного стрілочного переводу та друге – забезпечити максимальну довговічність осердя хрестовини.

Відповідно до цих пунктів розробляються нові удосконалені типи хрестовин стрілочних переводів та проводиться розробка діагностичних систем оцінки технічного стану хрестовин стрілочних переводів.

При проєктуванні хрестовин стрілочних переводів у EN 13232-1:2003 основними контрольними точками при проєктуванні стрілочних переводів, є точки наведені, на рис. 2.4.

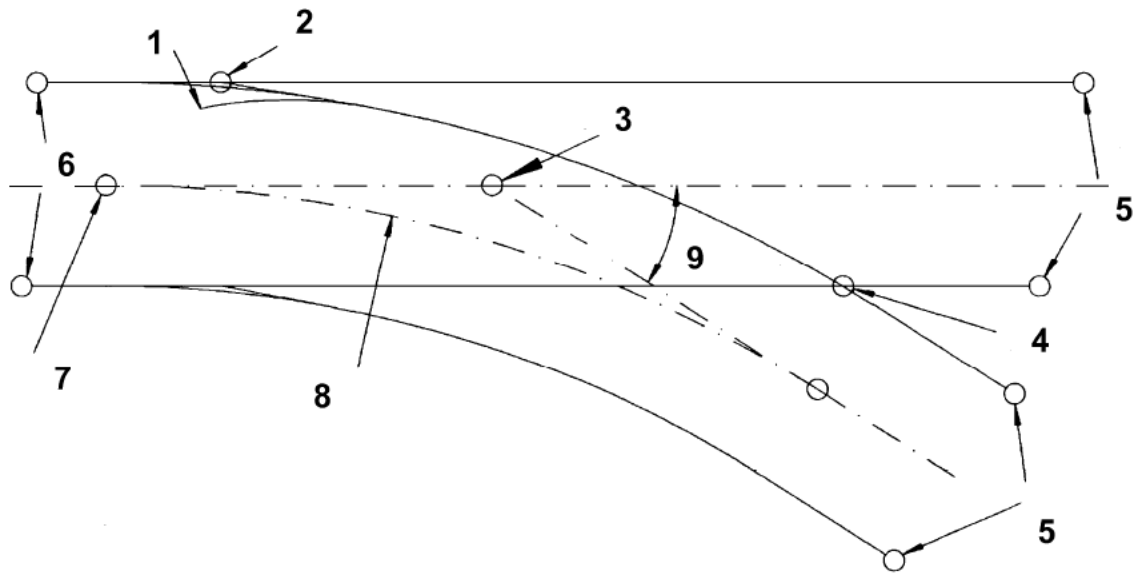


Рисунок 2.4 – Основні контрольні точки розбивки стрілочних переводів відповідно до EN 13232 [36]

При проектуванні вістря стрілочних переводів, що веде на бокову колію, повинні виконуватися умови плавного переходу колеса рухомого складу по СП (рис. 2.5).

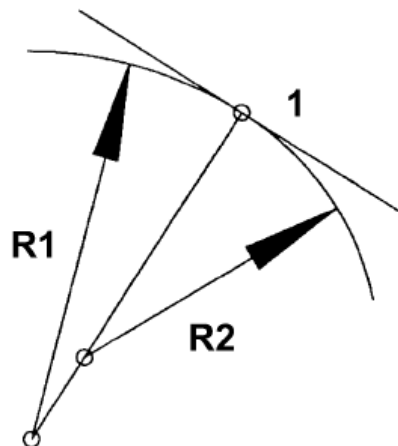


Рисунок 2.5 – Радіальна розбивка бокового вістря стрілочного переводу

Забезпечення довговічності хрестовин стрілочних переводів вимагає розробки комплексного підходу, що складається із дотримання норм проектування хрестовин, норм експлуатації та впровадження систем діагностики технічного стану хрестовин стрілочних переводів.

2.5. Застосування сучасних CAD програм для визначення оптимальних геометричних параметрів хрестовин стрілочних переводів

При проєктуванні хрестовин стрілочних переводів, важливим є встановлення оптимальних геометричних параметрів. На сьогоднішній день для цього можна використовувати CAD програми. Приклад виконаного 3D моделювання хрестовини типу EW 500-1/12, що експлуатується на залізницях Німеччини наведено на рис. 2.6.

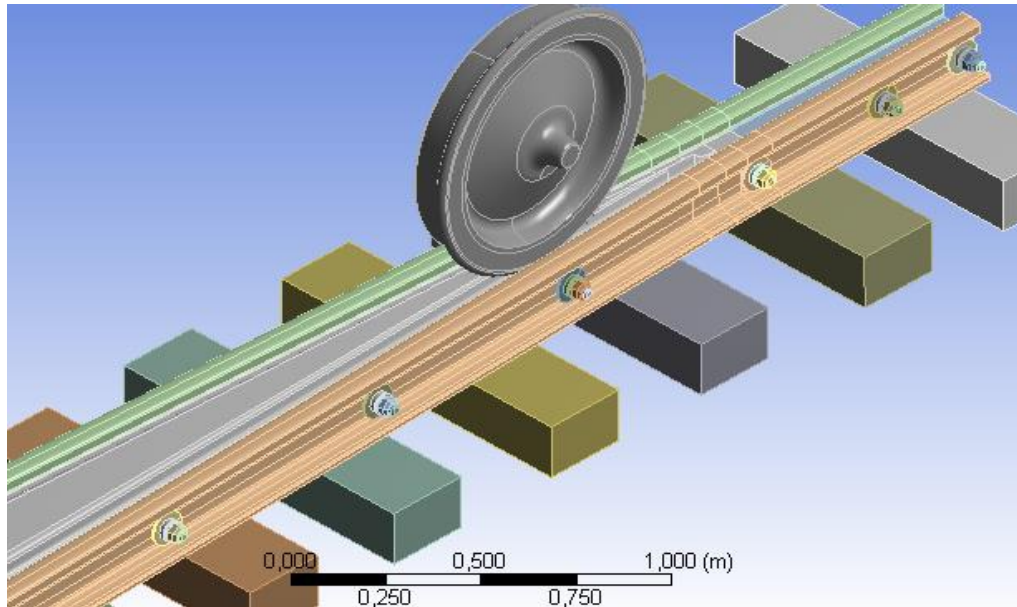


Рисунок 2.6 – 3D моделювання хрестовини EW 500-1/12

Перевагою використання 3D моделей є визначення оптимальних геометричних параметрів та форм контактної зони поверхонь хрестовини та бандажу рухомого складу, а також визначення геометричних параметрів поперечних перерізів хрестовин.

2.6. Сучасні системи контролю технічного стану хрестовин стрілочних переводів

Близько 75 % стрілочних переводів контролюється за допомогою сучасних вимірювальних систем. Особливо це питання актуальне на швидкісних залізницях де встановлені хрестовини із безперервною поверхнею кочення і відповідно є великі швидкості руху (рис. 2.7).



Рисунок 2.7 – Хрестовина із безперивною поверхнею кочення

Використовуються такі системи як S&C measuring trolley –FELIX (рис. 2.8), FELIX- Modular Components (рис. 2.9)



Рисунок 2.8 – Вигляд системи S&C measuring trolley –FELIX

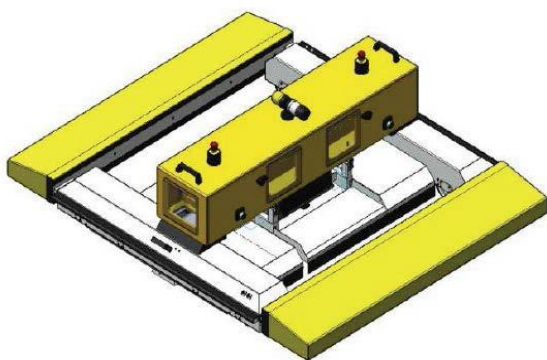


Рисунок 2.9 – Система FELIX- Modular Components

У результаті використання таких систем проводиться діагностика стрілочного переводу по частинах (рис. 2.10).

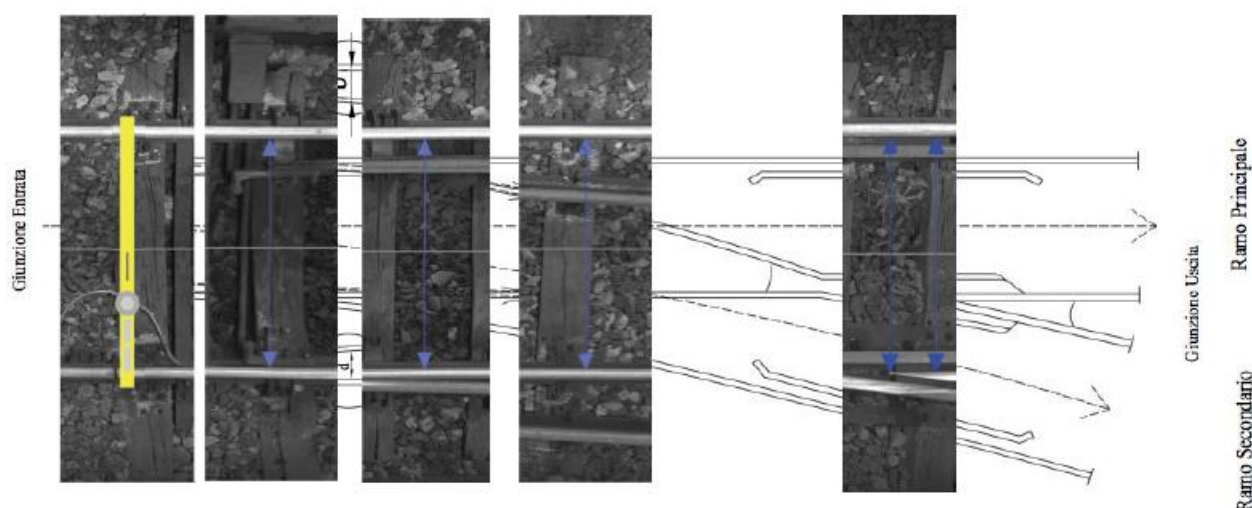


Рисунок 2.10 – Діагностика стрілочного переводу із використанням систем FELIX

Крім цього ці системи дають можливість оцінити вертикальний та боковий знос хрестовин стрілочних переводів (рис. 2.11).

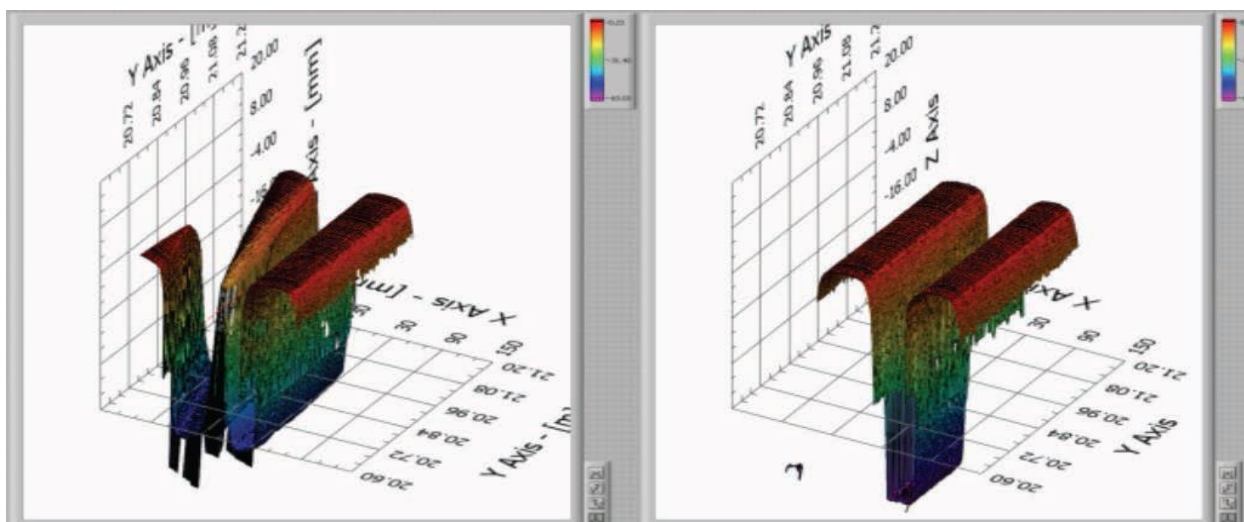


Рисунок 2.11 – Поверхні хрестовин стрілочних переводів, які отримані із використанням систем FELIX

Також сучасними системами діагностики стрілочних переводів на залізницях є системи, які встановлені стаціонарно на стрілочному переводі рис. 2.12.

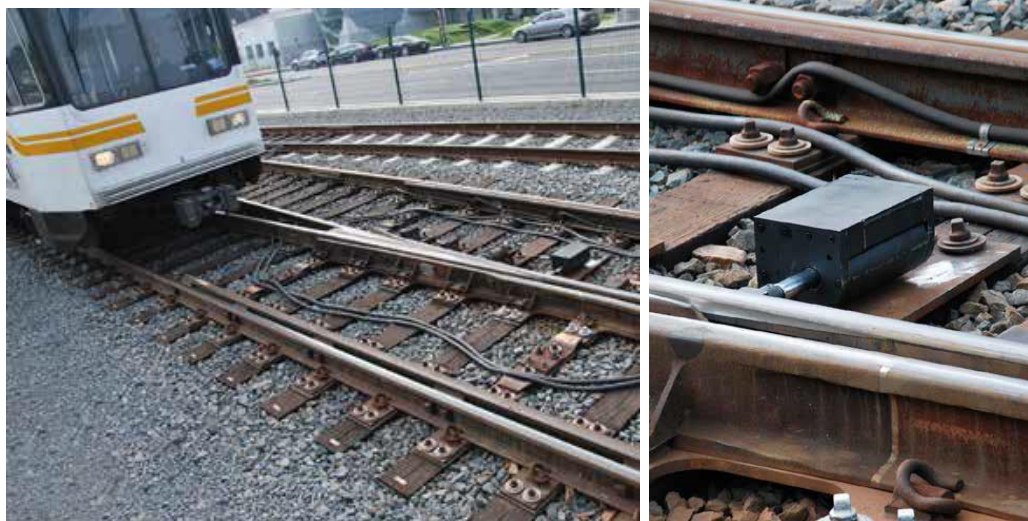


Рисунок 2.12 – Стаціонарна система контролю технічного стану хрестовин стрілочних переводів

Висновки до розділу 2

У результаті проведеного аналізу вимог нормативних документів Європейського Союзу та України до хрестовин стрілочних переводів отримано такі висновки:

1. Технічні умови, що діють у Європейському Союзі повинні застосовуватися у всіх країнах – членах ЄС під час проєктування, будівництва та здавання об'єктів залізничного транспорту в постійну експлуатацію.
2. При проєктуванні хрестовин стрілочних переводів на залізницях Європейського Союзу повинні дотримуватися вимоги EN 13232.
3. Розробка комплексного методу, який складається із запровадження єдиних норм проєктування хрестовин стрілочних переводів, норм експлуатації та впровадження систем діагностики технічного стану хрестовин призведе до підвищення терміну експлуатації хрестовин та ресурсозбереження в стрілочному господарстві залізниць.

РОЗДІЛ 3

МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ ОЦІНКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ХРЕСТОВИН СТРІЛОЧНИХ ПЕРЕВОДІВ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ІНЕРЦІЙНИХ ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ ВІДПОВІДНО ДО ЄВРОПЕЙСЬКОГО СОЮЗУ

3.1. Загальні положення вимірювання динамічного навантаження на хрестовини при проїзді рухомого складу залізниць

При взаємодії колеса рухомого складу залізничного транспорту із верхньою будовою колії виникає поширення вібрації, яка виникає за рахунок контактної динамічної та квазістатичної дії рухомого складу на колія [37-41]. Процес взаємодії систем наведено на рис. 3.1.

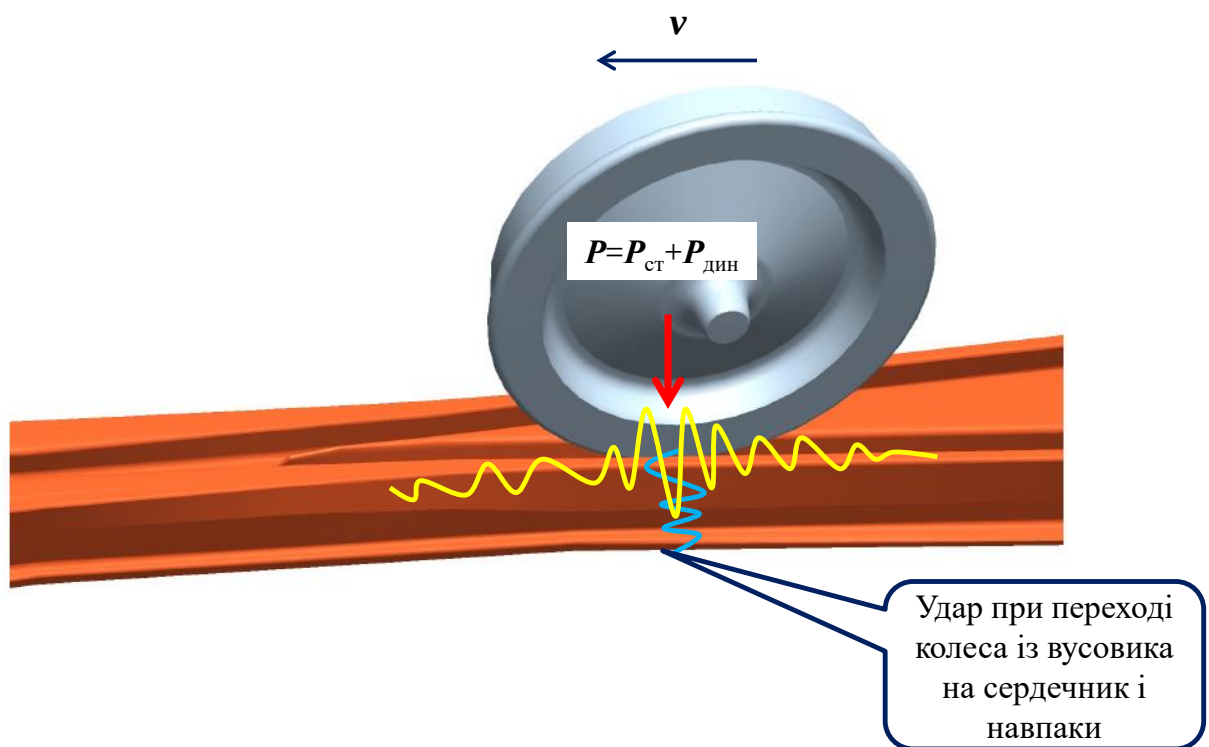


Рисунок 3.1 – Схема поширення динамічної дії рухомого складу на колію

У результаті проїзду рухомого складу залізничного транспорту по хрестовині стрілочного переводу виникають додаткові динамічні навантаження за рахунок нерівності, яка виникає через конструктивні особливості хрестовини

та вертикального і горизонтального зносу сердечника і вусовиків хрестовини. У результаті підвищення динамічних навантажень на хрестовини відбувається утворення пошкоджень хрестовини, що у багатьох випадках призводить до передчасного вилучення хрестовин із експлуатації.

Для оцінки технічного стану хрестовин наведемо комплексну методику експериментальних вимірювань параметрів динамічної взаємодії хрестовин та рухомого складу із застосуванням інерційних вимірювальних технологій.

3.2. Опис конструкції хрестовин та ділянки залізничної колії для проведення експериментальних досліджень динамічної взаємодії хрестовин та рухомого складу

Експериментальна оцінка параметрів динамічної взаємодії хрестовин та рухомого складу методами інерційних вимірювань проводилася на хрестовині, яка експлуатується на станції Львів, Львівської залізниці. Хрестовина розташована у східній горловині станції Львів (рис. 3.2) на примиканні колій №8, №10 та №12.



Рисунок 3.2 – Східна горловина станції Львів із СП 97

Тип стрілочного переводу Р65, марка хрестовини 1/11. Хрестовина експлуатується на залізобетонних брусах. Конструкція досліджувальної

хрестовини наведена на рис. 3.3.



Рисунок 3.3 – Конструкція досліджувальної хрестовини

Хрестовина має вертикальний знос вусовиків та сердечника. Для вимірювання вертикального зносу хрестовин використано штангенциркуль колійник. Процес вимірювання вертикального зносу наведено на рис. 3.4.



Штангельциркуль
колійний типу
ПШВ

Рисунок 3.4 – Вимірювання вертикального зносу хрестовини із застосування штангельциркулем колійник

Вимірювання вертикального зносу хрестовини проведено у характерних перетинах хрестовини: МЦХ, перерізи 12 мм, 20 мм, 30 мм, 35 мм, 40 мм та 50 мм. Вимірювання зносу проводилося у точках 1 – вусовик, 2 – сердечник та 3 – вусовик. Схема розташування точок наведена на рис. 3.5.

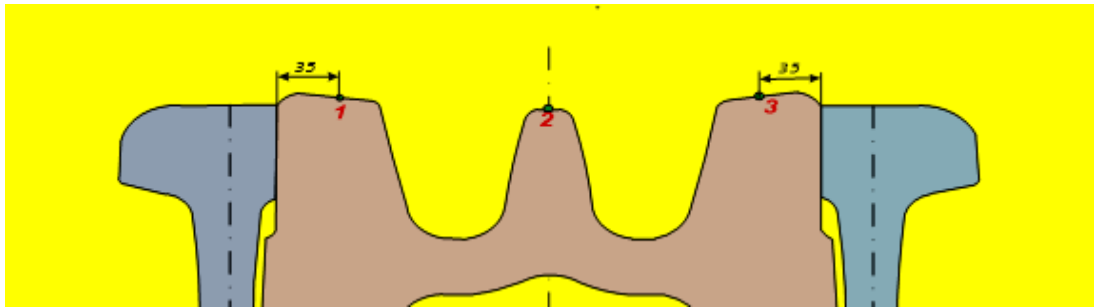


Рисунок 3.5 – Точки проміру вертикального зносу сердечника та вусовика хрестовини

Відстані від перетину осердя хрестовини 40 мм до характерних перетинів хрестовин наведено у табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Відстані для вимірювання вертикального зносу хрестовини у характерних перетинах

Марка хрестовини, 1/11	Відстань, мм, від перерізу 40 мм						
	МЦХ	до перерізу сердечника, мм					
		12	20	30	40	50	60
	441	309	221	110	0	110	221

Результати вимірювання повздовжнього профілю хрестовини наведено на рис. 3.6.

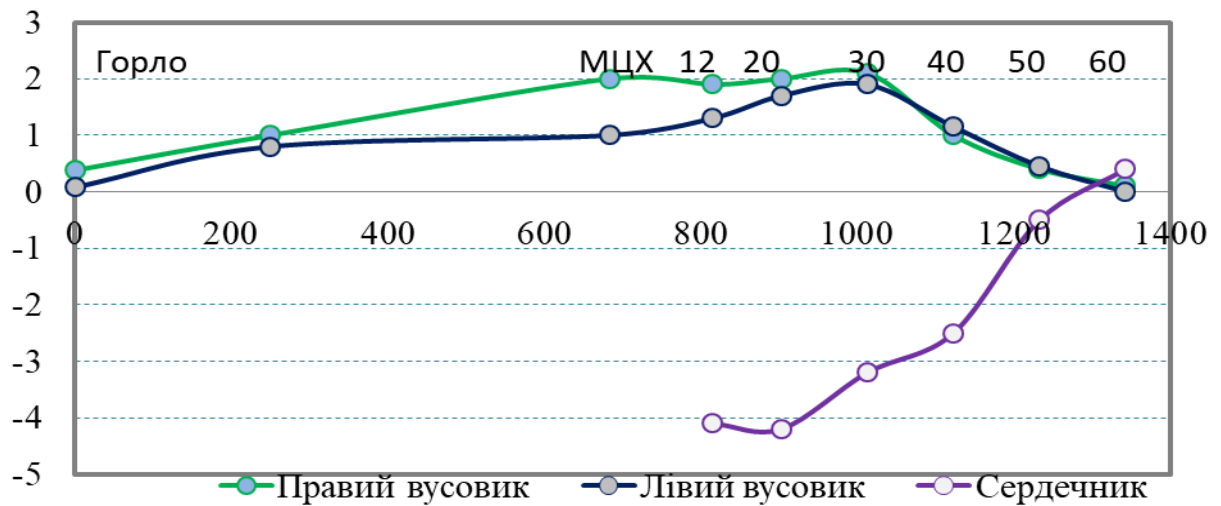


Рисунок 3.6 – Результати вимірювання повздовжнього профілю хрестовини стрілочного переводу

Результати проведених вимірювань вертикального зносу вусовиків та осердя хрестовини показали, що найбільший знос має осердя хрестовини у перерізі від 12 мм до перерізу 40 мм. Максимальний знос осердя хрестовини склав 4,5 мм.

Після вимірювання параметрів вертикального зносу хрестовини приступаємо до вимірювання динамічної взаємодії рухомого складу і хрестовини.

3.3. Методика підготовки хрестовини до експериментальних інерційних випробувань

Для проведення експериментальних вимірювань параметрів динамічної взаємодії хрестовини та рухомого складу використано інерційну систему. Система складається із персонального комп'ютера, високочастотного аналогово-цифрового перетворювача, двох датчиків (3-осьових акселерометрів) та одного датчику вимірювань лінійних переміщень.

Також у якості додаткового фактору вимірювань використано аналоговий датчик вимірювання шуму.

Процес монтажу вимірювальних датчиків на хрестовині наведено на рис. 3.7.



Розмічення місць
укладання датчиків



Монтаж
датчиків



Підключення датчиків
до АЦП

Рисунок 3.7 – Схема послідовності монтажу вимірювального обладнання для проведення експерименту на хрестовині

Для проведення вимірювань прискорень використано акселерометри ADXL 337. Перший акселерометр встановлений у перетині сердечника хрестовини 35 мм, а другий – на відстані 1000 мм від нього. Між акселерометрами встановлено лінійний датчик для вимірювання переміщень хрестовини. Схема встановлення акселерометрів наведена на рис. 3.8.

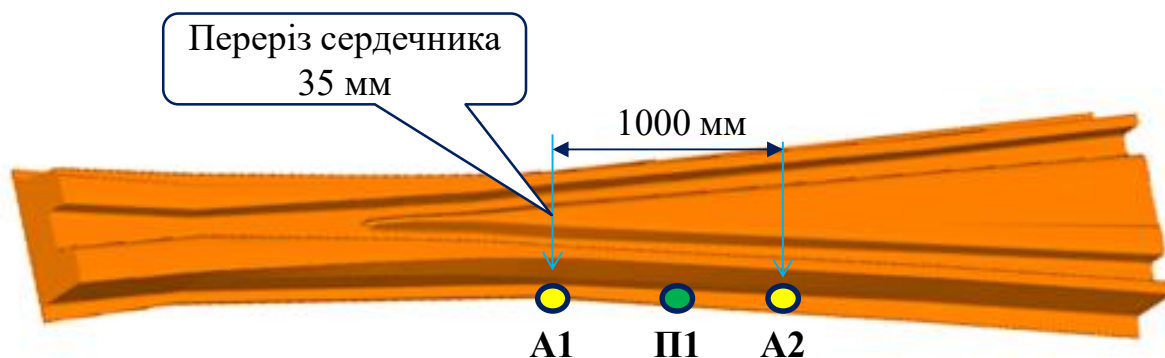


Рисунок 3.8 – Схема розташування датчиків на хрестовині: A1, A2 – акселерометри, П1 – потенціометр

Після цього було проведено динамічні випробування хрестовини при русі графікових поїздів.

3.4. Проведення записів прискорень інерційною системою

Експериментальні вимірювання записів динамічної взаємодії хрестовини та рухомого складу залізничного транспорту проводилося від графікових поїздів. Процес проїзду по досліджувальній хрестовині наведено на рис. 3.9.

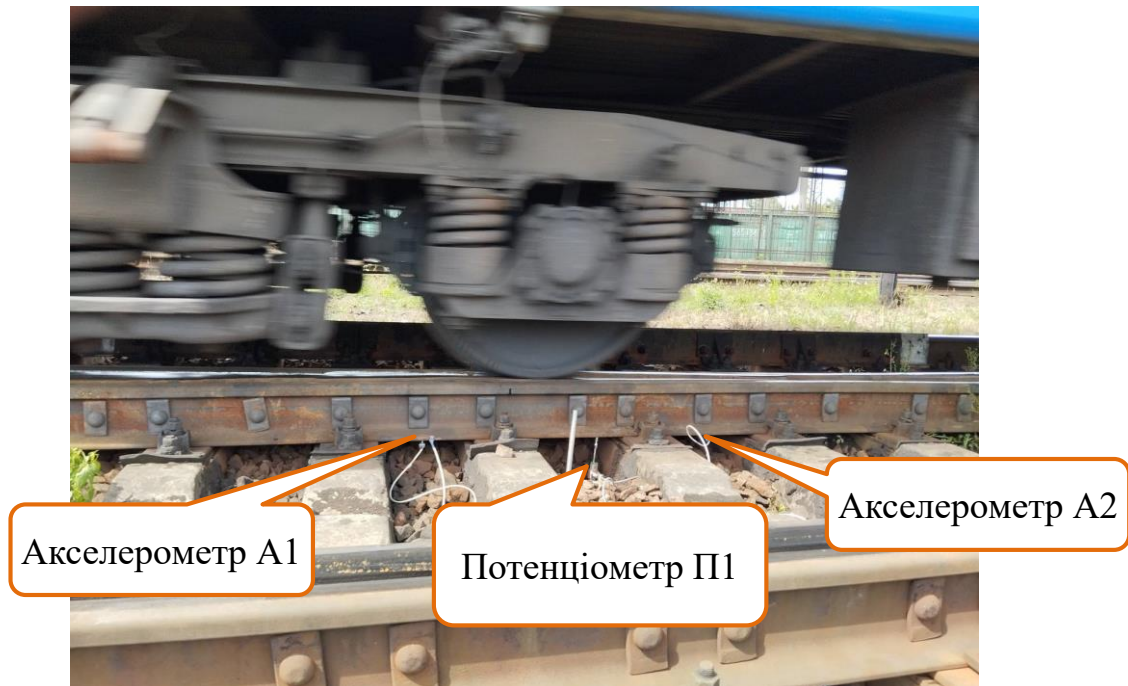


Рисунок 3.9 – Процес проїзду рухомого складу по хрестовині

Програма експериментальних випробувань наведена у табл. 3.1. У результаті експерименту проведено записи динамічної взаємодії від пасажирських поїздів із тяговим рухомим складом ЧС7 та від швидкісного поїзду Інтерсіті+.

3.5. Результати експериментальних випробувань хрестовини

Результати вимірювань прискорень по повздовжній осі хрестовини Ox при проїзді пасажирського рухомого складу із тяговим складом ЧС7 наведено на рис. 3.10.

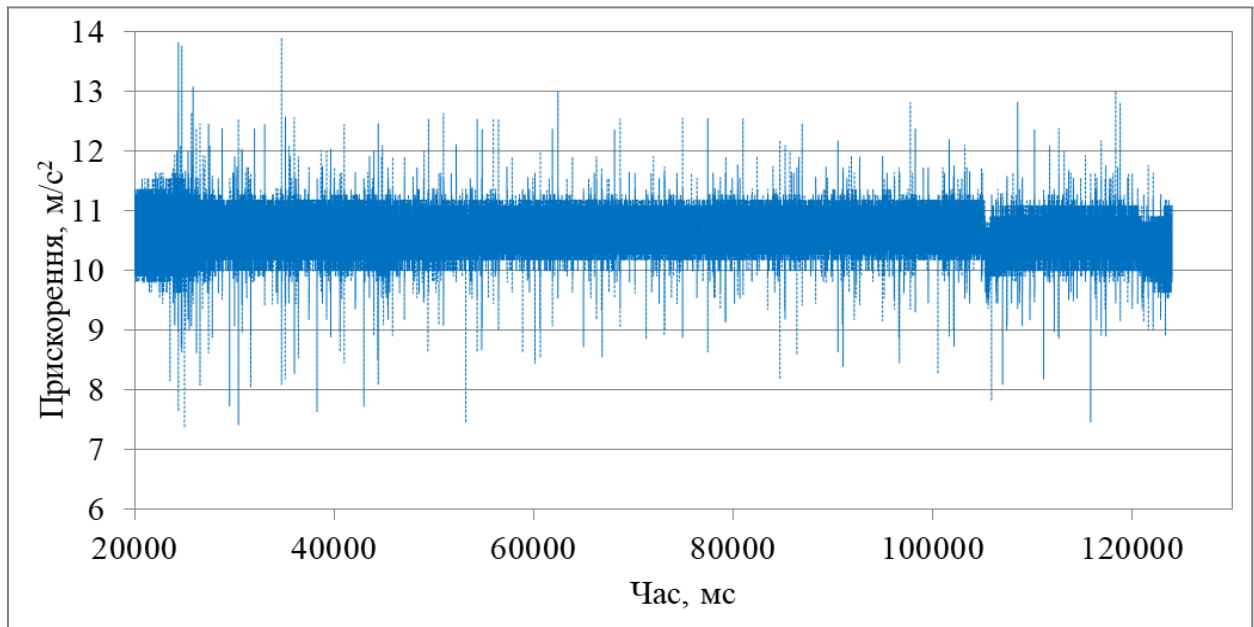


Рисунок 3.10 – Прискорення по осі Ох при русі пасажирського поїзду

Результати вимірювань прискорень по поперечній осі хрестовини Оу при проїзді пасажирського рухомого складу із тяговим складом ЧС7 наведено на рис. 3.11.

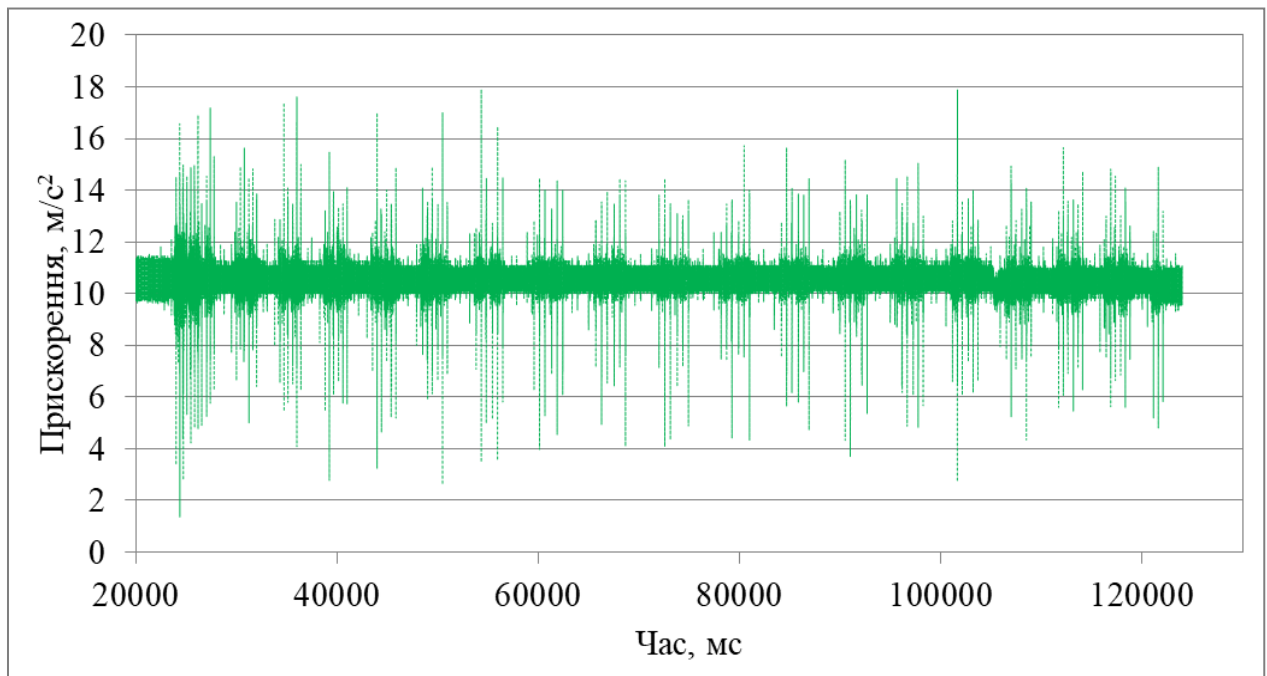


Рисунок 3.11 – Прискорення по осі Оу при русі пасажирського поїзду

Результати вимірювань прискорень по вертикальній осі хрестовини Оz при проїзді пасажирського рухомого складу із тяговим складом ЧС7 наведено на

рис. 3.12.

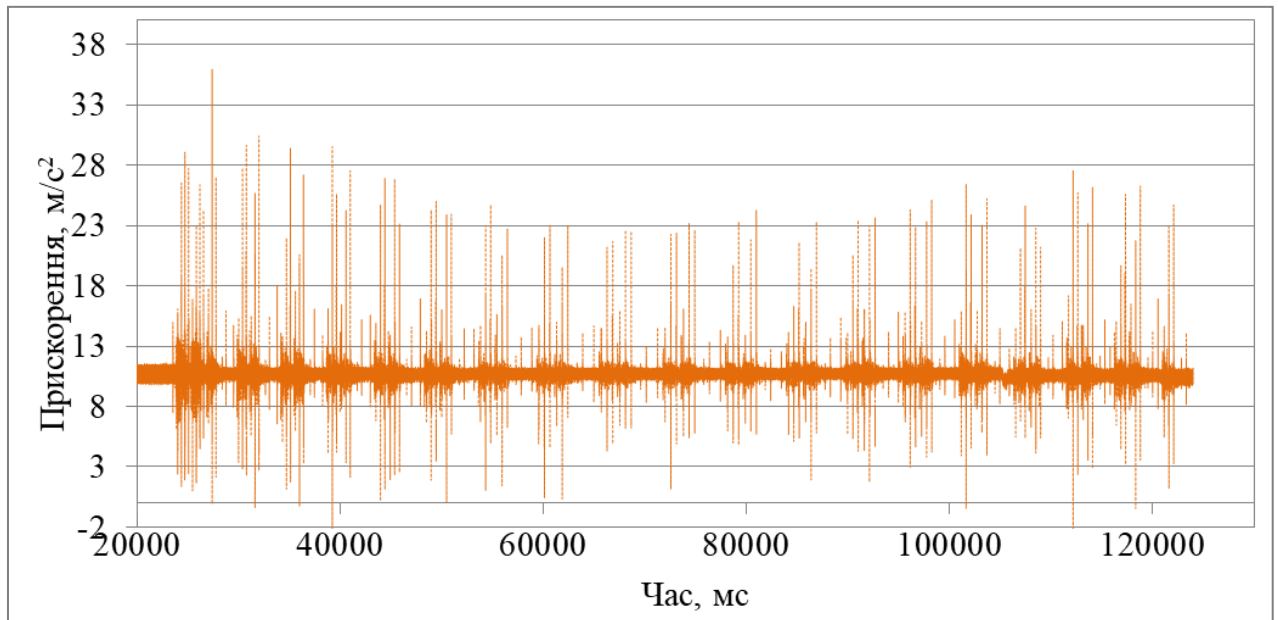


Рисунок 3.12 – Прискорення по осі Oz при русі пасажирського поїзду

Результати вимірювань переміщень хрестовини у вертикальному напрямі по осі Oz при проїзді пасажирського рухомого складу із тяговим складом ЧС7 наведено на рис. 3.13.

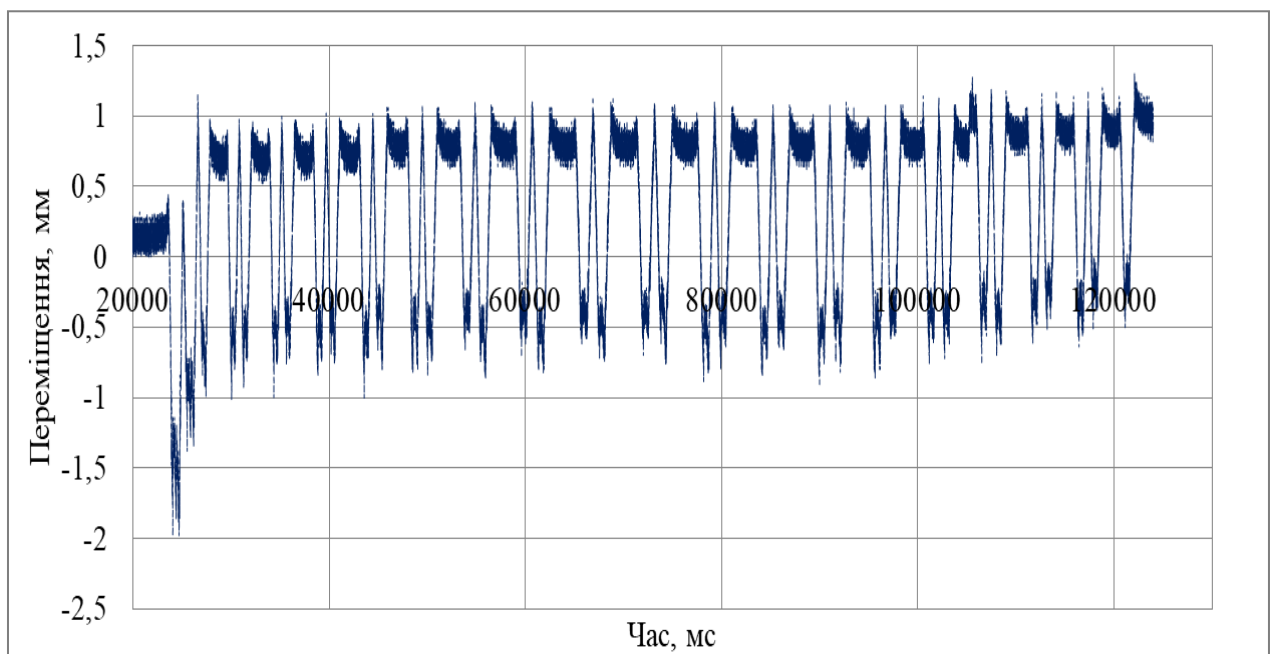


Рисунок 3.13 – Переміщення хрестовини у вертикальному напрямі при русі пасажирського поїзду із локомотивом ЧС7

Результати вимірювань прискорень по повздовжній осі хрестовини Ox при проїзді швидкісного поїзду Інтерсіті+ наведено на рис. 3.14.

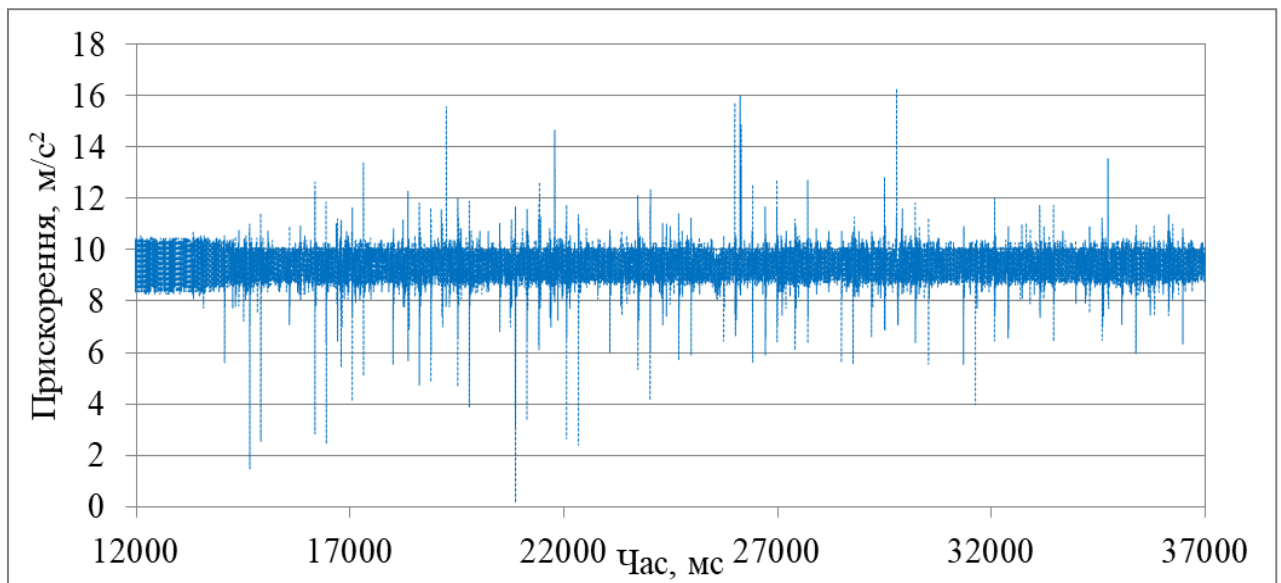


Рисунок 3.14 – Прискорення по осі Ox при русі швидкісного поїзду Інтерсіті+

Результати вимірювань прискорень по поперечній осі хрестовини Oy при проїзді швидкісного поїзду Інтерсіті+ наведено на рис. 3.15.

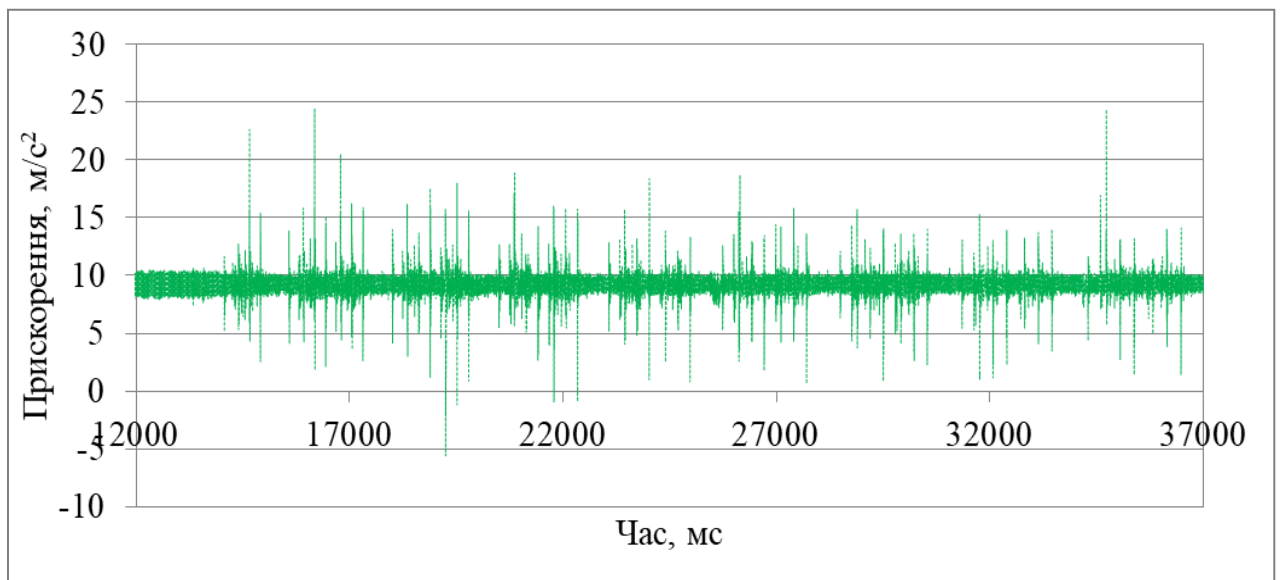


Рисунок 3.15 – Прискорення по осі Oy при русі швидкісного поїзду Інтерсіті+

Результати вимірювань прискорень по вертикальній осі хрестовини Oz при

проїзді швидкісного поїзду Інтерсіті+ наведено на рис. 3.16.

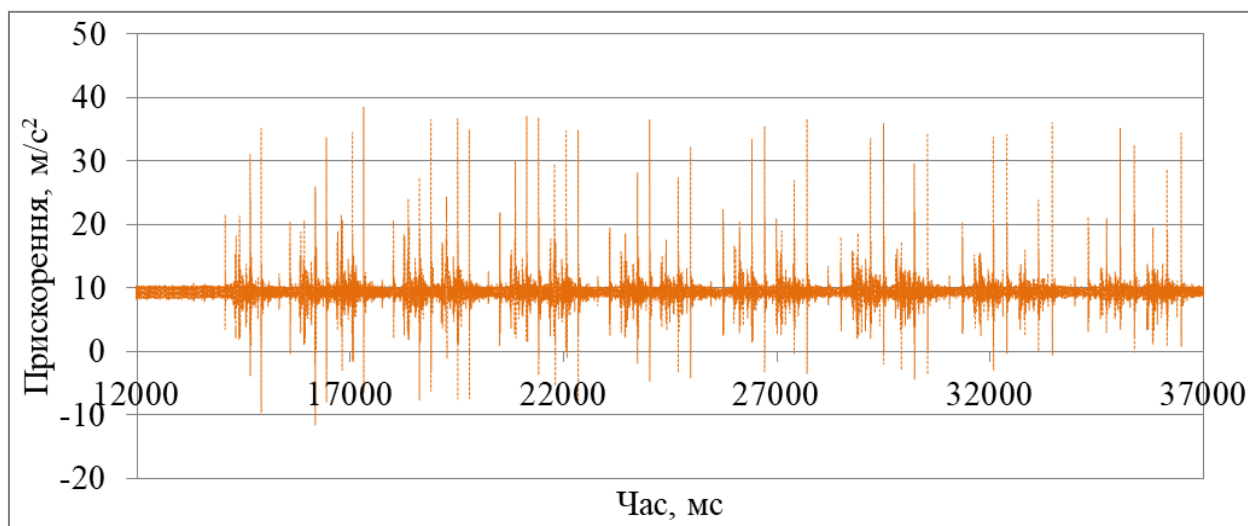


Рисунок 3.16 – Прискорення по осі Oz при русі швидкісного поїзду Інтерсіті+

Результати записів переміщень хрестовини у вертикальному напрямі при проїзді швидкісного поїзду Інтерсіті+ наведено на рис. 3.17.

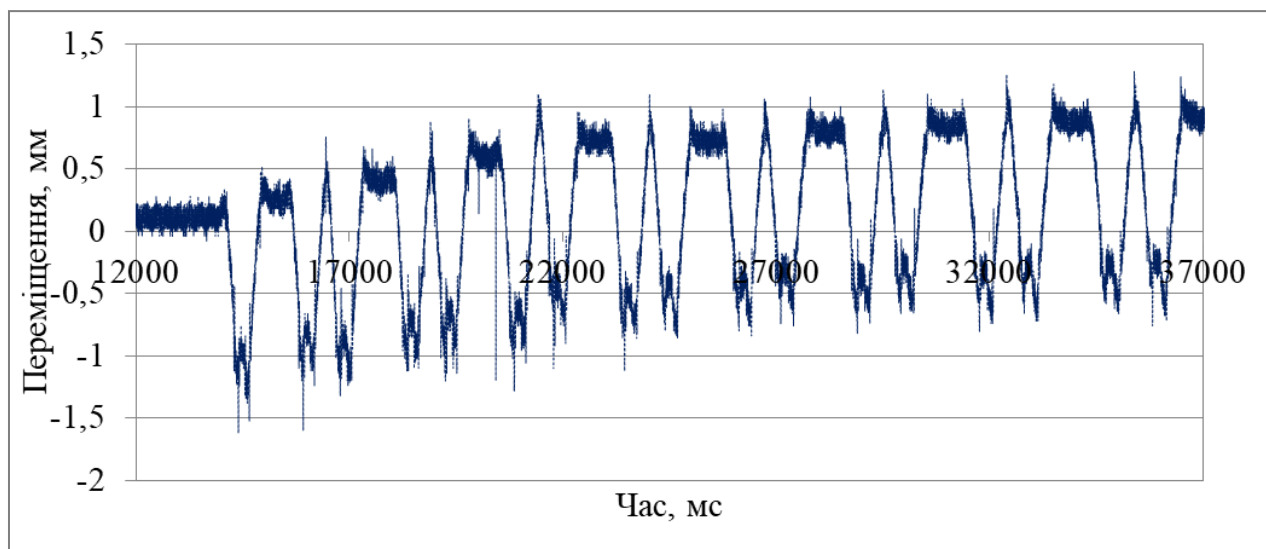


Рисунок 3.17 – Переміщення хрестовини у вертикальному напрямі при русі швидкісного поїзду Інтерсіті+

За результатами проведених експериментальних досліджень динамічні параметри, які виникають при взаємодії хрестовини із рухомим складом наведено у табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Результати експериментальних досліджень динамічних параметрів взаємодії рухомого складу і хрестовин

№п/п	Тип рухомого складу	Швидкість, км/год	Прискорення, м/с ²			Переміщення, мм
			Вісь O _x	Вісь O _y	Вісь O _z	Вісь O _z
1	Локомотив ЧС7	61,7	13,82	17,18	35,91	1,94
2	Пасажирський вагон	61,7	12,55	14,28	29,55	1,31
3	Швидкісний поїзд Інтерсіті+	79,4	16,09	24,27	38,18	1,61

Із результатів експериментальних випробувань встановлено, що максимальні прискорення при динамічній взаємодії хрестовин і рухомого складу виникають у вертикальному напрямі хрестовини. При проїзді пасажирського поїзду із локомотивом ЧС7 із швидкістю 61,7 км/год, величина прискорень у вертикальному напрямі (вісь O_z) хрестовини від локомотиву склала 35,91 м/с², від пасажирських вагонів 29,55 м/с² та від швидкісного поїзду Інтерсіті+ - 38,18.

Дещо меншими за величиною від прискорень у вертикальному напрямі є прискорення у поперечному напрямі хрестовини (вісь O_y). Величина прискорень від локомотиву склала 17,18 м/с², від пасажирських вагонів 14,28 м/с² та від швидкісного поїзду Інтерсіті+ - 24,27 м/с².

Найменші значення прискорень виникають у повздовжньому напрямі хрестовини. Величина прискорень від локомотиву склала 13,82 м/с², від пасажирських вагонів 12,55 м/с² та від швидкісного поїзду Інтерсіті+ - 16,09 м/с².

При цьому слід зазначити, що максимальна величина переміщення

хрестовини виникла при проїзді локомотиву ЧС7 і вона склала 1,94 мм, від пасажирського поїзду – 1,31 мм та від швидкісного поїзду Інтерсіті+ величини переміщень хрестовини склала 1,61 мм.

Як бачимо найвищими є значення прискорень у вертикальному напрямі хрестовини. Тому вони можуть бути індикатором оцінки технічного стану хрестовин стрілочних переводів в умовах експлуатації.

Висновки до розділу 3

У результаті проведених експериментальних вимірювань динамічної взаємодії хрестовин стрілочного переводу із рухомих складом залізниці отримано наступні висновки:

1. Визначальним фактором динамічної взаємодії хрестовини та рухомого складу є величина вертикального зносу вусовиків та сердечника хрестовини.

2. Результати проведених вимірювань вертикального зносу вусовиків та осердя хрестовини показали, що найбільший знос має осердя хрестовини у перерізі від 12 мм до перерізу 40 мм. Максимальний вимірний знос осердя хрестовини склав 4,5 мм.

3. Встановлено, що максимальні прискорення при динамічній взаємодії хрестовини і рухомого складу виникають у вертикальному напрямі хрестовини. При проїзді пасажирського поїзду із локомотивом ЧС7 із швидкістю 61,7 км/год, величина прискорень у вертикальному напрямі (вісь Oz) хрестовини від локомотиву склала $35,91 \text{ м/с}^2$, від пасажирських вагонів $29,55 \text{ м/с}^2$ та від швидкісного поїзду Інтерсіті+, який рухався із швидкістю 79,4 км/год склала $38,18 \text{ м/с}^2$. При цьому максимальна величина переміщення хрестовини виникла при проїзді локомотиву ЧС7 і склала 1,94 мм, від пасажирського поїзду – 1,31 мм та від швидкісного поїзду Інтерсіті+ -1,61 мм.

4. Встановлено, що найменші значення прискорень виникають у повздовжньому напрямі хрестовини. Величина прискорень від локомотиву склала $13,82 \text{ м/с}^2$, від пасажирських вагонів $12,55 \text{ м/с}^2$ та від швидкісного поїзду Інтерсіті+ $-16,09 \text{ м/с}^2$.

5. Встановлено, що при інерційних динамічних випробуваннях хрестовин стрілочних переводів, індикатором оцінки технічного стану хрестовини є величина вертикальних прискорень.

РОЗДІЛ 4

РЕКОМЕНДАЦІЇ ІЗ ПРОВЕДЕННЯ ОЦІНКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ХРЕСТОВИН СТРІЛОЧНИХ ПЕРЕВОДІВ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ІНЕРЦІЙНИХ ВИМІРЮВАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

4.1. Загальні положення методики поточного утримання хрестовин стрілочних переводів в умовах експлуатації

Комплексна система утримання стрілочних переводів залізниць України впливає на термін експлуатації металевих частин СП в цілому і хрестовин зокрема. Під системою розуміється комплекс заходів спрямованих на продовження терміну служби хрестовин. Проте на сьогоднішній день не має ґрунтовних досліджень, щодо розробки індикаторів оцінки технічного стану хрестовин стрілочних переводів із використанням передових методів діагностики хрестовин.

Слід зазначити, що на даний час розроблено ряд рекомендацій із системи ведення стрілочного господарства [42]. Проте продовження терміну служби хрестовин повинно передбачати застосування сучасного підходу із використанням сучасних вимірювальних технологій та пристроїв.

Збільшення ресурсу хрестовини стрілочних переводів в умовах експлуатації залежить не тільки від конструктивних параметрів (особливостей) конструкції хрестовини, але і від підходів поточного утримання та моніторингу технічного стану хрестовин. Це вимагає розробки методів (критеріїв) оцінки технічного стану хрестовини та виконання певних видів попереджувальних робіт. Вони будуть спрямовані на попередження та передчасний вихід хрестовин із експлуатації.

Система продовження терміну служби хрестовин повинна передбачати виконання ряду послідовних видів робіт, і повинна включати виконання певних заходів: система технічного контролю хрестовини, візуальний огляд хрестовин,

своєчасне виконання робіт з поточного утримання хрестовин, комплексний ремонт хрестовин у стаціонарних умовах.

Структурна схема заходів утримання та діагностики технічного стану хрестовин стрілочних переводів наведена на рис. 4.1.

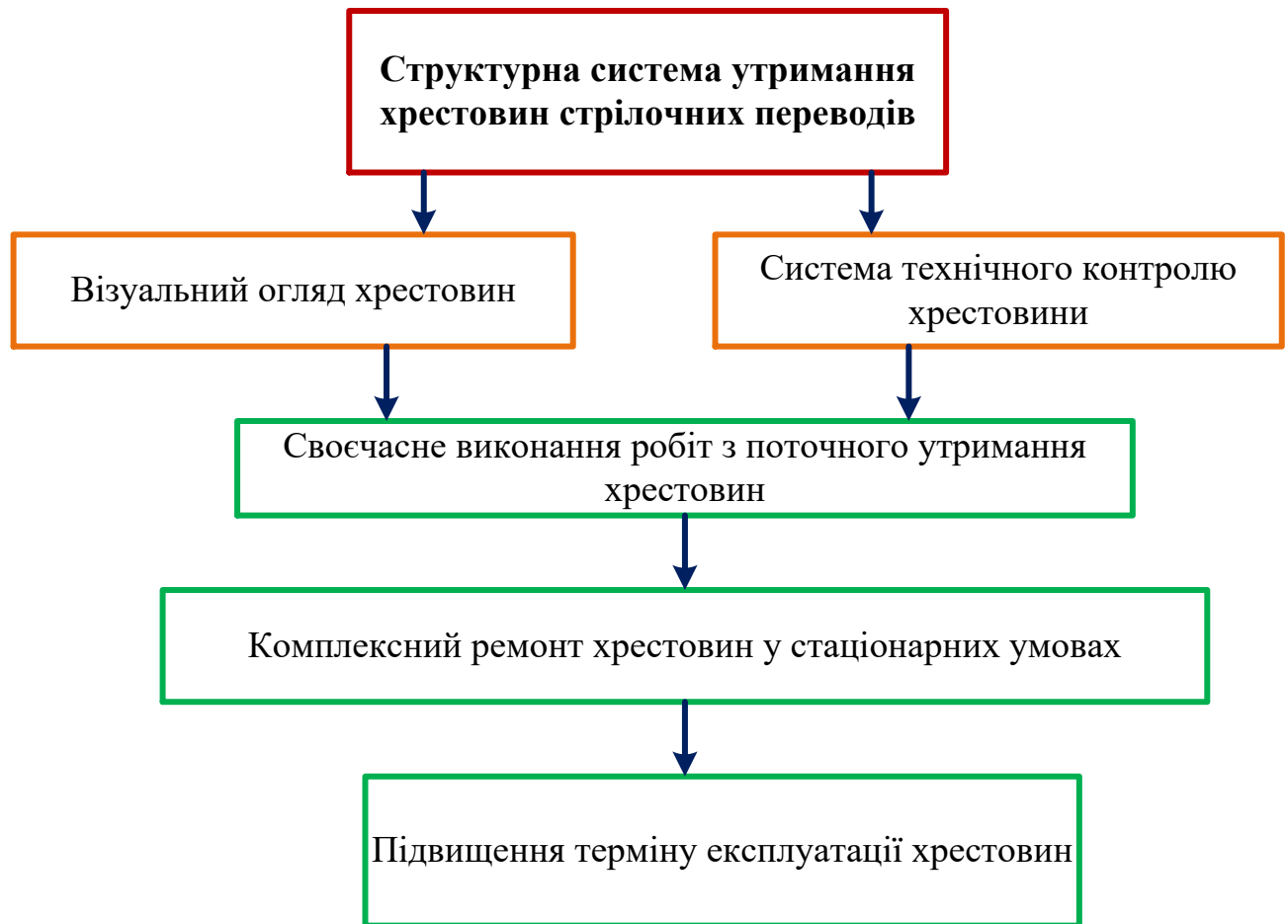


Рисунок 4.1 – Структурна система утримання хрестовин стрілочних переводів з метою підвищення терміну експлуатації хрестовин

Дана система передбачає застосування різноманітних заходів поточного утримання хрестовин в умовах експлуатації.

Першим заходом є проведення візуального огляду. Він може застосовуватися із використанням спеціалізованого обладнання, що є наявне у дистанцій колії для вимірювання геометричних параметрів хрестовини.

Другий комплексний захід передбачає застосування сучасних вимірювальних технологій оцінки технічного стану хрестовин із використанням систем діагностики.

Застосування першого та другого заходів призведе до прийняття своєчасних рішень щодо виконання поточного виду робіт на хрестовині. Це може бути шліфівка хрестовини, наплавка хрестовини, підбиття щебенню під брусами хрестовинного вузла. Схема послідовності виконання видів поточних робіт на хрестовині наведена на рис. 4.2.

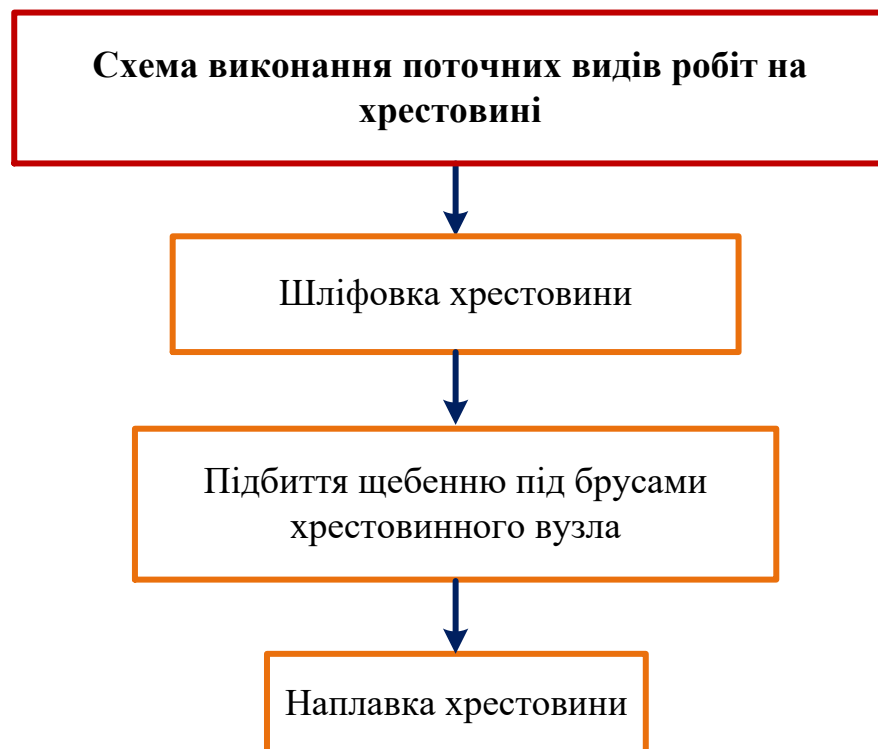


Рисунок 4.2 – Схема виконання поточних видів робіт на хрестовині

У результаті застосування такого комплексного підходу утримання стрілочних переводів призведе до підвищення терміну служби хрестовин в умовах експлуатації.

Зупинимося більш детально на блоці системи оцінки технічного стану хрестовин стрілочних переводів.

4.2. Системи оцінки технічного стану хрестовин стрілочних переводів в умовах експлуатації

Нормативними документами, що використовуються на залізницях України терміни служби елементів стрілочних переводів, визначаються за допустимим зносом металевих частин стрілочного переводу. Для розробки та ефективного застосування систем утримання стрілочних переводів в умовах експлуатації необхідна знати індикатори, які відповідають за зміну технічного стану хрестовини. Одними із них є підвищення динамічної взаємодії, що призводить до збільшення динамічних сил удару при проїзді рухомого складу по хрестовині, підвищення амплітуди коливань та величин прискорень тощо. На ці параметри має вплив параметр траєкторії руху центра мас колеса при русі по хрестовинному вузлу, які будуть виникати при проїзді рухомого складу залізничного транспорту.

Індикатори для оцінки зміни технічного стану хрестовин стрілочних переводів в умовах експлуатації наведено на рис. 4.3.

Із рис. 4.3 видно, що для оцінки технічного стану хрестовин на першому етапі слідкуємо за величиною зносу сердечника та вусовиків хрестовини. Тому що ці параметри мають вплив на величину параметрів вертикальної траєкторії руху центра мас колеса по хрестовинному вузлу.

Є ряд праць, що досліджень формування вертикального зносу хрестовин стрілочних переводів [43–44].

Проведені дослідження засвідчили. Що найбільш корелюються два фактори, це фактор вертикального зносу, величина h та фактор пропущеного тоннажу T . Ця залежність відповідно до праці [44] має вигляд:

$$h = \alpha \cdot T^n. \quad (4.1)$$



Рисунок 4.3 – Індикатори оцінки технічного стану хрестовин стрілочних переводів в умовах експлуатації

Більшість дослідників вважає, що залежність (4.1) є спрощеною і більш достовірною є крива $h = f(T)$, яка добре апроксимується із використанням наступної залежності:

$$h = a\sqrt{T} + b \cdot T, \quad (4.2)$$

У формулах (4.1) та (4.2) прийнято наступні позначення: T – пропущений по хрестовині тоннаж; a – числовий коефіцієнт, який залежить від перерізу сердечника де проводиться вимірювання вертикального зносу хрестовини (рис. 4.4).

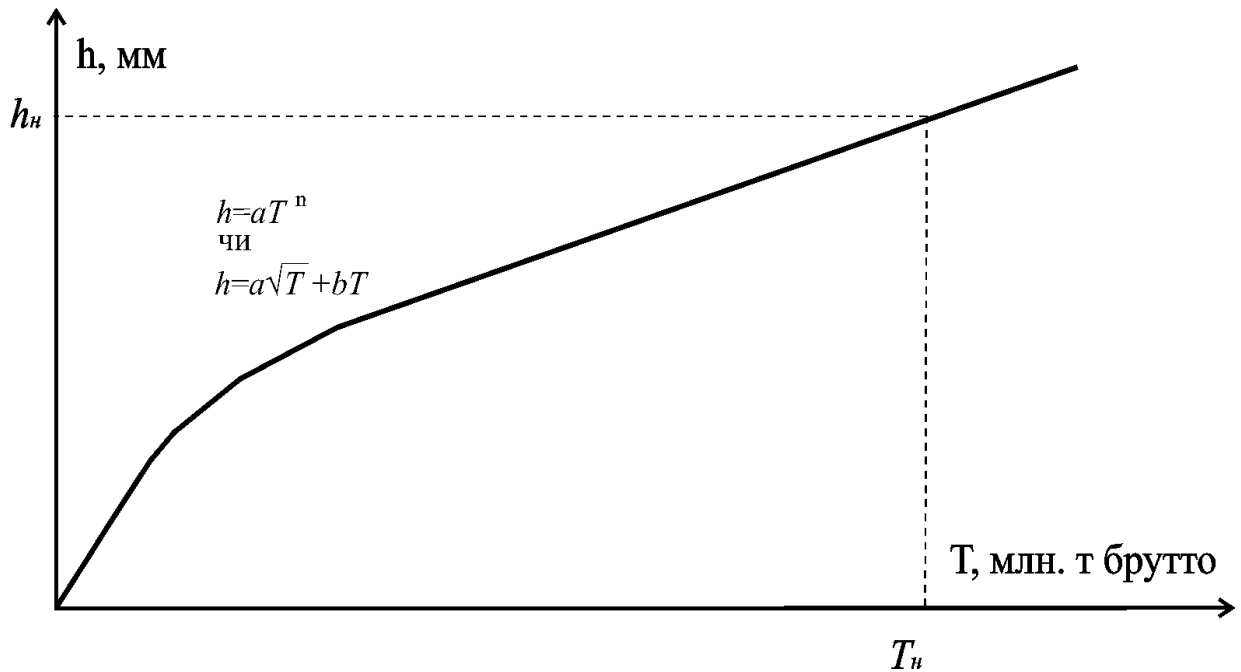


Рисунок 4.4 – Аналітична розрахункова крива вертикального зносу поверхні кочення хрестовини $h = f(T)$ відповідно до праці [44]

Далі за залежністю (4.2), починаючи з 1950-х років, були встановлені співвідношення зносу h до пропущеного тоннажу T для ряду конструкцій стрілочних переводів, у тому числі хрестовин типу Р65 і Р50 на дерев'яних брусах. Які виконані у вигляді загального лиття сердечника та вусовиків, а також деяких суцільнолитих хрестовин, що працюють в умовах металургійних комбінатів [45, 46, 47]

Проте, в умовах експлуатації хрестовин стрілочних переводів на залізобетонних брусах, дана теоретична залежність (4.2) має інший вигляд. І скажімо один значний удар по хрестовині стрілочного переводу може заподіяти більше руйнуванню хрестовини, аніж серія багатьох ударів незначної величини. Тому тут потрібно мати системи, які дозволяють, це швидко виявити та працювати на упередження передчасному виходу хрестовин із експлуатації. Підвищення величини пропущеного тоннажу призведе до збільшення силової дії на хрестовину та впливу на розвиток дефектів у сердечнику та вусовику хрестовини. Скажімо у місці виколу металу на поверхні металевих частин

стрілочного переводу виникатимуть додаткові динамічні сили, величина яких може бути, за різними дослідженнями від 10 до 30 тонн.

Також, слід зазначити, що у результаті збільшення величини вертикальної нерівності при русі рухомого складу будуть виникати додаткові величини динамічних навантажень на хрестовину. У результаті це призводить до підвищення силової дії на хрестовину.

І далі оцінки зміни динамічних параметрів хрестовини методом застосування інерційних вимірювальних технологій призведе до визначення допустимих меж величин прискорень, які є характерні для нової хрестовини, і які характерні для хрестовини, що має певні величини зносу.

4.3. Методика оцінки траєкторії руху колеса рухомого складу по хрестовині

Довговічність хрестовини в експлуатації залежить від умов експлуатації. Як відомо із попередніх розділів магістерської роботи, в основному хрестовини вилучають із експлуатації через причину вертикального зносу [48-49].

У результаті вертикального зносу осердя та вусовиків хрестовини і зносу коліс рухомого складу виникає траєкторія перекочування колеса рухомого складу по хрестовині [48]. Цю траєкторію можна описати за допомогою формули:

$$\eta(x) = f\{P(x), W, \delta\} \quad (4.1)$$

де $\eta(x)$ – функція, що визначає параметри траєкторії перекочування колеса по хрестовині, і вона залежить від поздовжнього профілю хрестовини $P(x)$, який формується у вертикальній площині, поперечного профілю колеса рухомого складу W , а також величини зазору, що виникає при в'їзді колеса на хрестовину між робочою гранню осердя (вусовика) та гребня колеса.

Поздовжній профіль вусовиків хрестовини $P_B(x)$ та поздовжній профіль сердечника хрестовини $P_C(x)$ можна описати лінійними функціями. Схема до

розрахунку абсцис поздовжнього профілю, для хрестовини марки 1/11 наведена на рис. 4.5.

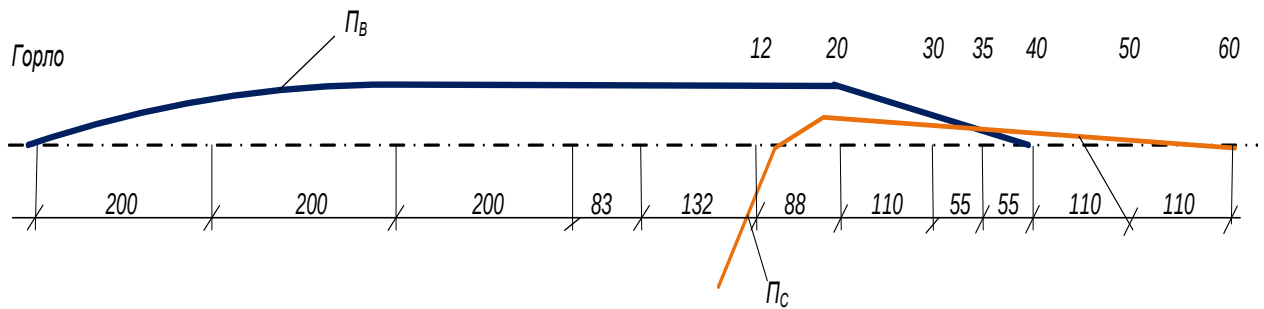


Рисунок 4.5 – Абсциси поздовжнього профілю для хрестовини марки 1/11 [48]

Для хрестовини марки 1/11 абсциса перекочування колеса по довжині визначається за формулою:

$$y(x) = 0,067 \cdot x \quad \text{при } 0 < x < 683 \quad (4.2)$$

$$y(x) = 45 + 0,0909 \cdot x \quad \text{при } 683 < x < 1068 \quad (4.3)$$

У результаті результуюча нерівність, яка буде відповідати за траєкторію руху центру мас колеса по хрестовині у вертикальній площині описується формулами:

$$\eta(x) = \Pi_B(x) - W\{y(x) + \delta\} \quad \text{при } x < x' \quad (4.4)$$

$$\eta(x) = \Pi_C(x) - W\{\delta\} \quad \text{при } x < x' \quad (4.5)$$

На параметри нерівності крім зносу осердя та вусовиків хрестовини, також має вплив абсциса точки переходу колеса із вусовика на сердечник x' .

4.4. Методологія застосування інерційних вимірювальних систем для оцінки технічного стану хрестовин стрілочних переводів

Методологія застосування інерційних вимірювальних систем для оцінки технічного стану хрестовин передбачає проведення комплексу

експериментальних вимірювань на хрестовині. Із розділу першого магістерської роботи, нам відомо, що на залізницях Європейського Союзу застосовують сучасні вимірювальні системи для оцінки технічного стану хрестовин, це системи ESAH-F та ESAH-M. Перша передбачає оцінку технічного стану хрестовини методом вимірювань, що виникають на буксовому вузлі при проїзді рухомого складу по хрестовині, друга передбачає стаціонарне встановлення системи на кожній хрестовині.

Тому для визначення параметрів прискорень, які будуть відповідати за зміну технічного стану хрестовини у першу чергу необхідно провести експерименти на хрестовині від моменту її укладання до набуття вертикального зносу, що перевищує допустимий. При цьому це можуть бути як стаціонарні вимірювання так і з рухомого складу залізниці. У результаті отримаємо індикатор зміни технічного стану хрестовини за вимірюванням прискорень.

Слід зазначити, що стаціонарні вимірювання з однієї сторони є кращими, оскільки дозволяють точно визначати динамічні параметри тільки однієї хрестовини. Проте це вимагатиме збільшення фінансування при застосуванні такої системи діагностики. При використанні системи із вимірювань прискорень із рухомого складу дає можливість проводити моніторинг багатьох хрестовин по напрямку руху рухомого складу залізниць, але це вимагатиме співставлення отриманих даних для кожної хрестовини по напрямку руху рухомого складу залізниці.

Наша методологія оцінки технічного стану хрестовин стрілочних переводів передбачає застосування двох систем: стаціонарної та системи встановленої на рухомому складі. Методологія роботи та застосування інерційних вимірювальних систем наведена на рис. 4.6.

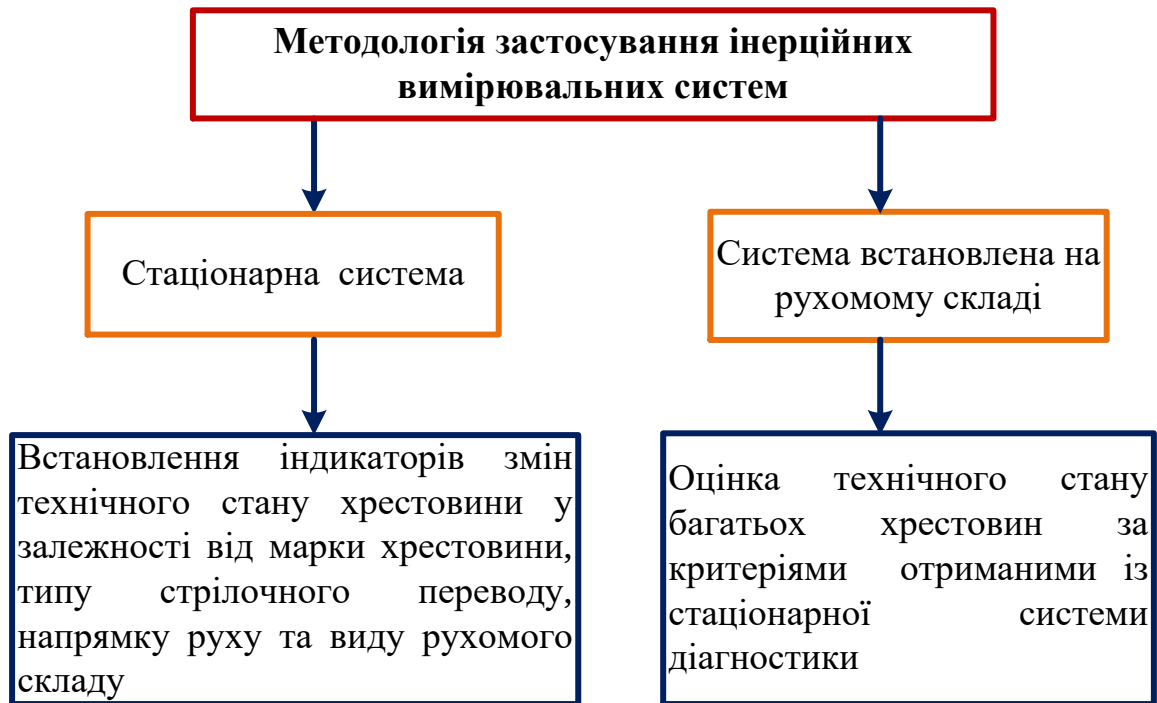


Рисунок 4.6 – Методологія застосування інерційних вимірювальних систем для оцінки технічного стану хрестовини

За допомогою стаціонарної системи можна встановити індикатори зміни технічного стану хрестовини у залежності від марки хрестовини, типу стрілочного переводу, напрямку руху та виду рухомого складу. Крім цього стаціонарна система буде передавати дані про прив'язку до колійних координат, тобто конкретне місце розташування хрестовини.

За допомогою системи, що встановлена на рухомому складі визначається технічний стан хрестовин по критеріях отриманих із індикаторів зміни технічного стану хрестовини за стаціонарною системою.

У результаті застосування комплексної системи оцінки моменту зміни технічного стану хрестовини призведе до підвищення її життєвого циклу. Тобто інерційні вимірювальні системи діагностики будуть попереджати про погіршення технічного стану хрестовини. У результаті швидкого реагування і виконання упереджувальних робіт (виконання наплавки, шліфовки, підбивки щебеню під хрестовинним вузлом) призведе до продовження життєвого циклу хрестовини стрілочних переводів в умовах експлуатації.

4.5. Стратегія планування робіт за потребою методом впровадження інерційних вимірювальних систем

Відповідно до нормативних документів, на залізницях України діє планова модель ремонтів колії. Рекомендуємо перейти від планової до моделі ремонтів інфраструктури колії, у межах магістерської роботи, ремонту хрестовин стрілочних переводів за потребою, не залежно від пропущеного тоннажу. Така модель передбачає застосування високого рівня діагностики в цілому. Проте на нашу думку це призведе до ресурсозбереження у стрілочному господарстві залізниці.

У результаті модель виконання ремонтів хрестовин стрілочних переводів за потребою буде передбачати наступне:

- запровадження сучасного комп'ютеризованого обліку стрілочних переводів на залізницях;

- діагностика хрестовин стрілочних переводів відбуватиметься із певною періодичністю, або постійно, у залежності від технічного стану;

- виконання робіт за потребою, при вказівці системи діагностики, яка дає інформацію про зміну технічного стану хрестовини за встановленими показниками (індикаторами стану);

- планування колійних робіт за результатами проміжного контролю технічного стану хрестовин стрілочних переводів.

Структурна схема моделі виконання ремонтних робіт на хрестовині за потребою наведена на рис. 4.7.

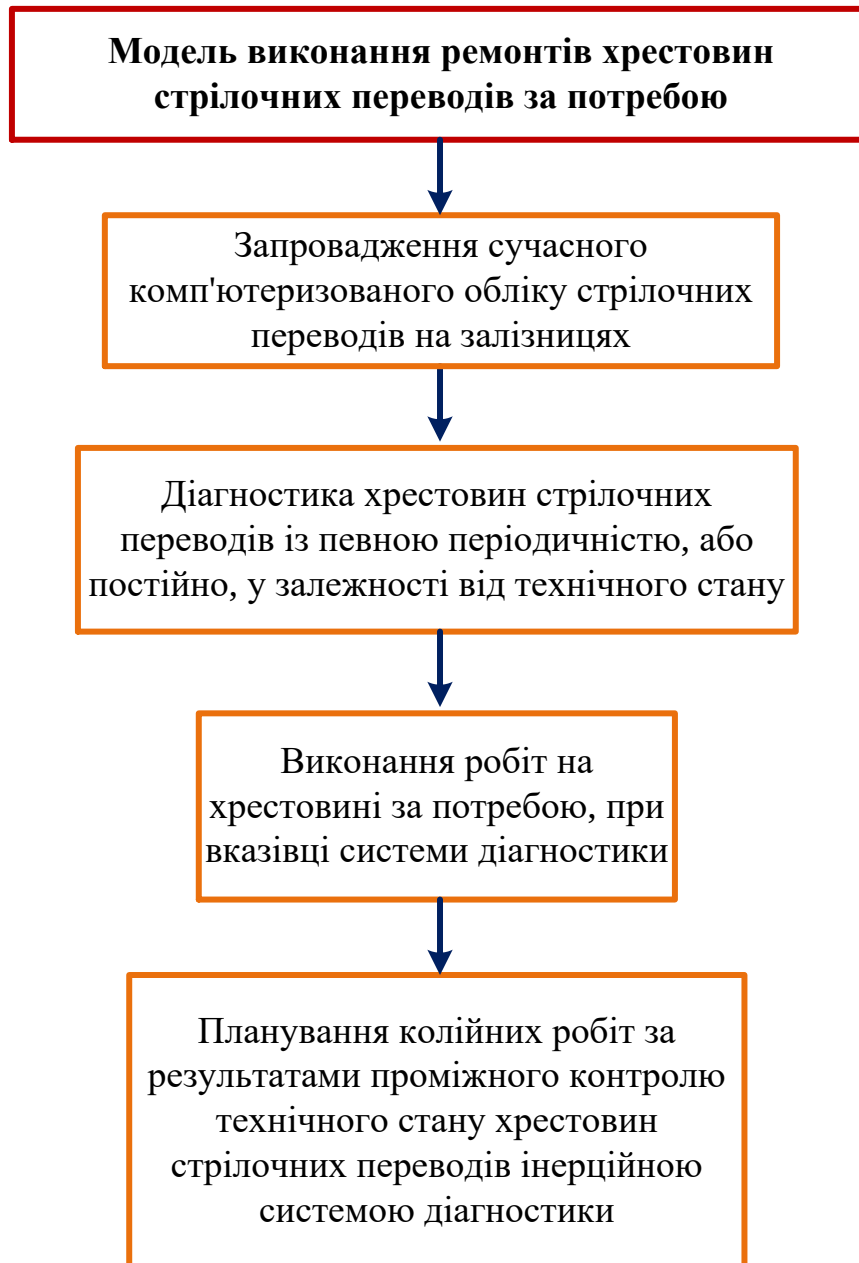


Рисунок 4.7 – Структурна схема моделі виконання ремонтних робіт на хрестовині за потребою

Слід зазначити, що вчасні моменти виконання попереджувальних робіт на основі отриманих даних із інерційних систем діагностики призведуть до встановлення оптимальних моментів виконання поточних робіт на хрестовині. А це у свою чергу призведе до підвищення життєвого ресурсу хрестовин стрілочних переводів та стану безпеки при проїзді рухомого складу залізниць.

Висновки до розділу 4

У результаті запропонованих рекомендацій щодо методології оцінки технічного стану хрестовин стрілочних переводів в умовах експлуатації отримано наступні висновки та рекомендації:

1. Для підвищення життєвого циклу хрестовин стрілочних переводів необхідно запровадити на залізницях сучасні вимірювальні системи контролю технічного стану хрестовин, які будуть попереджати про погіршення стану хрестовин.

2. За допомогою стаціонарних систем та систем встановлених на рухомому складі залізниці можна проводити комплексну перевірку технічного стану багатьох хрестовин, що експлуатуються на головних, приймально-відправних, під'їзних та інших коліях.

3. Застосування засобів взаємної інтеграції штучного алгоритму взаємодії рухомого складу та хрестовин стрілочних переводів призведе до підвищення технічного стану хрестовин стрілочних переводів, а це у результаті і до підвищення стану безпеки на залізничному транспорті та зменшення фінансових витрат на утримання стрілочних переводів.

4. Вчасні моменти виконання попереджувальних робіт на основі отриманих даних із інерційних систем діагностики призведуть до встановлення оптимальних моментів виконання виду поточних робіт, що призведе до підвищення життєвого ресурсу хрестовин стрілочних переводів та стану безпеки при проїзді рухомого складу залізниць.

ВИСНОВКИ

Основні наукові результати та висновки, що отримано у магістерській роботі полягають у наступному:

1. Основною причиною вилучення хрестовин із експлуатації є вертикальний знос осердя та вусовиків хрестовини, які складають більше 50 % від суми всіх причин вилучення хрестовин.

2. Для продовження терміну служби хрестовин в умовах експлуатації потрібно застосовувати сучасні системи діагностики, які дозволяють попереджувати утримуючу організацію про зміну технічного стану хрестовини. При цьому, для розробки ефективної системи контролю та діагностики хрестовин стрілочних переводів методом інерційних вимірювань потрібно даною системою зібрати статистичні дані і далі встановити критерії, які будуть відповідати за індикатор зміни технічного стану хрестовини.

3. Визначальним фактором динамічної взаємодії хрестовини та рухомого складу є величина вертикального зносу вусовиків та сердечника хрестовини. Результати проведених вимірювань вертикального зносу вусовиків та осердя хрестовини показали, що найбільший знос має осердя хрестовини у перерізі від 12 мм до перерізу 40 мм. Максимальний вимірний знос осердя хрестовини склав 4,5 мм.

4. Встановлено, що максимальні прискорення при динамічній взаємодії хрестовини і рухомого складу виникають у вертикальному напрямі хрестовини. При проїзді пасажирського поїзду із локомотивом ЧС7 із швидкістю 61,7 км/год, величина прискорень у вертикальному напрямі (вісь Oz) хрестовини від локомотиву склала $35,91 \text{ м/с}^2$, від пасажирських вагонів $29,55 \text{ м/с}^2$ та від швидкісного поїзду Інтерсіті+, який рухався із швидкістю 79,4 км/год склала $38,18 \text{ м/с}^2$. При цьому максимальна величина переміщення хрестовини виникла при проїзді локомотиву ЧС7 склала 1,94 мм, від пасажирського поїзду – 1,31 мм та від швидкісного поїзду Інтерсіті+ - 1,61 мм.

Встановлено, що найменші значення прискорень виникають у

повздожньому напрямі хрестовини. Величина прискорень від локомотиву склала $13,82 \text{ м/с}^2$, від пасажирських вагонів $12,55 \text{ м/с}^2$ та від швидкісного поїзду Інтерсіті+ - $16,09 \text{ м/с}^2$.

5. Встановлено, що при інерційних динамічних випробуваннях хрестовин стрілочних переводів, індикатором оцінки технічного стану хрестовини є величина вертикальних прискорень.

6. Для підвищення життєвого циклу хрестовин стрілочних переводів необхідно запровадити на залізницях сучасні вимірювальні системи контролю технічного стану хрестовин, які будуть попереджати про погіршення стану хрестовин.

За допомогою стаціонарних систем та систем встановлених на рухомому складі залізниці можна проводити комплексну перевірку технічного стану багатьох хрестовин, що експлуатуються на головних, приймально-відправних, під'їзних та інших коліях.

7. Застосування засобів взаємної інтеграції штучного алгоритму взаємодії рухомого складу та хрестовин стрілочних переводів призведе до підвищення технічного стану хрестовин стрілочних переводів, а це у результаті і до підвищення стану безпеки на залізничному транспорті та зменшенні фінансових витрат на утримання стрілочних переводів.

8. Вчасні моменти виконання попереджувальних робіт на основі отриманих даних із інерційних систем діагностики призведуть до встановлення оптимальних моментів виконання виду поточних робіт, що призведе до підвищення життєвого ресурсу хрестовин стрілочних переводів та стану безпеки при проїзді рухомого складу залізниць.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ