

Міністерство освіти і науки України  
Український державний університет науки і технологій

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

«Транспортна інфраструктура»  
(повна назва кафедри)

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

на тему: Дослідження сучасних технологій формування та діагностики колісних пар рухомого складу для міжнародних перевезень

за освітньою програмою «Інтероперабельність і безпека на залізничному транспорті»

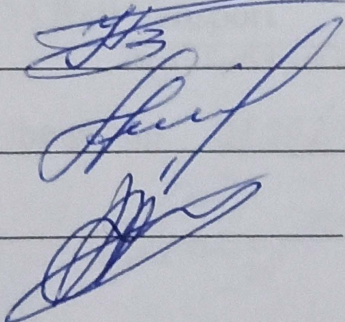
зі спеціальності: 273 «Залізничний транспорт»  
(шифр і назва спеціальності)

Виконав: студент

групи: ІН 2226

(підпис студента)

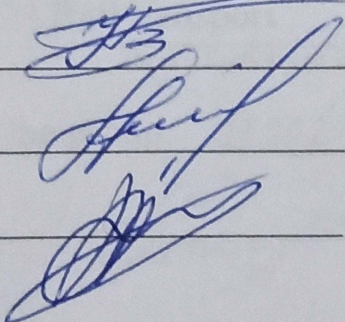
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)



/ Ігор БИРИЧ /

Керівник:

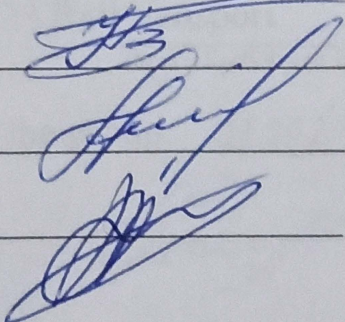
(підпис)(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)



/ PhD Андрій КУЗИШИН /

Нормоконтролер:

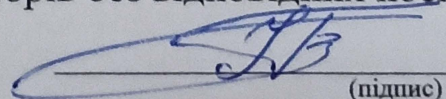
(підпис)(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)



/ 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»

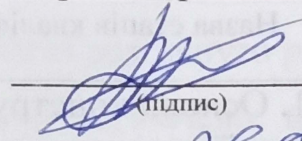
Спеціальність: 273 «Залізничний транспорт»

(шифр та назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

«Транспортна інфраструктура»



Олексій ТЮТКІН

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Дата

29.01.2023

**ЗАВДАННЯ**

на кваліфікаційну роботу

ОС «магістр»

(ступінь вищої освіти)

студенту Биричу Ігорю Петровичу

(Прізвище, Ім'я По батькові)

1. Тема роботи: «Дослідження сучасних технологій формування та діагностики колісних пар рухомого складу для міжнародних перевезень»

Керівник роботи: Кузишин Андрій Ярославович, PhD, 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. Методи силового впливу рухомого складу на колію.

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

Вступ. Розділ 1. Основи конструкції та особливості експлуатації колісних пар рухомого складу. Розділ 2. Класифікація дефектів та способи контролю коліс колісних пар рухомого складу. Розділ 3. Дослідження методів вимірювань силового впливу рухомого складу на колію та систем технічного контролю коліс під час руху поїзда. Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):

Презентація за матеріалами досліджень, викладених в магістерській роботі (PowerPoint, 11 слайдів).

**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 modern technologies of formation and diagnosis of wheel pairs of rolling stock for international transportation

according to educational curriculum Interoperability and safety in railway transport

in the Specialization: 273 Rail transport

(Specialization and its code )

Done by the student

(name, surname)

of the group: IH 2226

/ Ihor BYRYCH /

Scientific Supervisor:

(position, name, surname)

/ PhD Andriy KUZYSHYN /

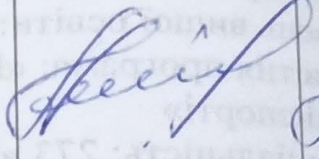
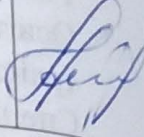
Normative controller :

(position, name, surname)

/ Head of Dept. Oleksii TIUTKIN /

Dnipro – 2024

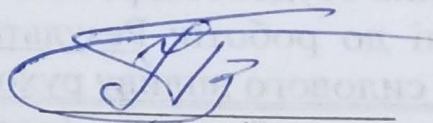
### 6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Завдання видав: (підпис консультанта, дата)	Завдання приймає (підпис студента)
Всі розділи	Кузишин А.Я.		

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

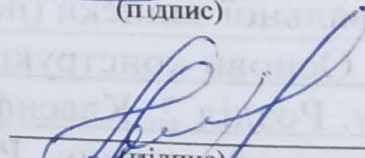
№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Прим.
1	Розділ 1. Основи конструкції та особливості експлуатації колісних пар рухомого складу.	30.10.2023- 19.11.2023	
2	Розділ 2. Класифікація дефектів та способи контролю коліс колісних пар рухомого складу.	20.11.2023- 04.12.2023	
3	Розділ 3. Дослідження методів вимірювань силового впливу рухомого складу на колію та систем технічного контролю коліс під час руху поїзда.	05.12.2023- 07.01.2024	
4	Перевірка роботи на наявність збігів текстових (літерних і цифрових) символів та графічних фрагментів. Отримання відгуку.	08.01.2024- 14.01.2024	
5	Подання кваліфікаційної роботи до кафедри	15.01.2024	
6	Захист кваліфікаційної роботи на засіданні Екзаменаційної комісії	Згідно з планом ЕК	

Студент

  
(підпис)

Ігор БИРІ  
(Ім'я ПРІЗВИЩ)

Керівник роботи

  
(підпис)

Андрій КУЗІ  
(Ім'я ПРІЗВИЩ)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи магістра:

53 стор., 30 рис., 1 табл., 18 літературних джерел.

Об'єкт розробки – технологія неруйнівного контролю ходових частин вагонів під час їх руху.

Мета роботи – дослідження методик виявлення дефектів поверхні кочення колісних пар вантажних вагонів під час їх руху для міжнародних перевезень.

Метод дослідження – аналіз нормативної документації України та ЄС. Дослідження методик виявлення дефектів поверхні кочення колісних пар рухомого складу.

Для досягнення поставленої мети в роботі розглянуто розглянуто типи та умови експлуатації колісних пар рухомого складу, відзначено, що на сьогоднішній час візуальний огляд на пункті технічного обслуговування є основним методом, при якому виявляються дефекти поверхні кочення коліс, відзначено, що на даний час вимоги щодо механічних та геометричних параметрів колісних пар у всіх країнах приблизно однакові, встановлено, що методи вимірювання за нормальними напруженнями або деформаціями в реальному часі не здатні обстежити всю поверхню колеса і можуть пропускати короткі ударні впливи від дефектів, так як величина вимірювальної зони мала, встановлено, що методи оцінки стану коліс за прискореннями, рівнем шуму та акустичної емісії дозволяють визначати дефекти на поверхні кочення коліс з мінімальною кількістю ділянок. Однак питання точності цих вимірів, з погляду метрології, залишається відкритим через безліч факторів, що впливають.

Ключові слова: КОЛІСНА ПАРА, ПОВЕРХНЯ КОЧЕННЯ, ПРИСКОРЕННЯ, ШУМ, РЕЙКА, ЄВРОПЕЙСЬКІ НОРМИ

## СПИСОК СКОРОЧЕНЬ І СЛОВНИК ТЕХНІЧНИХ ТЕРМІНІВ

ПТО	Пункт технічного обслуговування
КП	Колісна пара
НК	Неруйнівний контроль
ВКМ	Вагонна колісна майстерня
ДСТУ	Державний стандарт України
EN	Європейська норма
ПТЕ	Правила технічної експлуатації
МВРС	Моторовагонний рухомий склад
США	Сполучені Шатти Америки
WILD	Wheel Impact Load Detector
ПАК	Пост акустичного контролю
WCM	Wheel Condition Monitor

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП.....</b>	<b>6</b>
<b>РОЗДІЛ 1. ОСНОВИ КОНСТРУКЦІЇ ТА ОСОБЛИВОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ КОЛІСНИХ ПАР РУХОМОГО СКЛАДУ .....</b>	<b>8</b>
1.1. ПРИЗНАЧЕННЯ, УМОВИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТА ТИПИ КОЛІСНИХ ПАР .....	8
1.2. ФОРМУВАННЯ КОЛІСНИХ ПАР .....	15
Висновки до розділу 1.....	20
<b>РОЗДІЛ 2. КЛАСИФІКАЦІЯ ДЕФЕКТІВ ТА СПОСОБИ КОНТРОЛЮ КОЛІС КОЛІСНИХ ПАР РУХОМОГО СКЛАДУ .....</b>	<b>21</b>
2.1. ОСОБЛИВОСТІ КОНТРОЛЮ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ КОЛІСНИХ ПАР .....	21
2.2. ВИМОГИ НОРМАТИВНИХ ДОКУМЕНТІВ УКРАЇНИ ТА ЄС ЩОДО ТЕХНІЧНОГО УТРИМАННЯ КОЛІСНИХ ПАР .....	28
Висновки до розділу 2.....	30
<b>РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ВИМІРЮВАНЬ СИЛОВОГО ВПЛИВУ РУХОМОГО СКЛАДУ НА КОЛІЮ ТА СИСТЕМ ТЕХНІЧНОГО КОНТРОЛЮ КОЛІС ПІД ЧАС РУХУ ПОЇЗДА .....</b>	<b>31</b>
3.1. ВИМІРЮВАННЯ ЗА НАПРУЖЕННЯМИ АБО ДЕФОРМАЦІЯМИ В РЕЙЦІ.....	32
3.2. ВИМІРЮВАННЯ ЗА НОРМАЛЬНИМ НАПРУЖЕННЯМ НА ШИЙЦІ РЕЙКИ.....	34
3.3. ВИМІРЮВАННЯ ПО ДЕФОРМАЦІЇ ОТВОРУ В РЕЙЦІ .....	35
3.4. ВИМІРЮВАННЯ ЗА ДОТИЧНИМИ НАПРУЖЕННЯМ НА ШИЙЦІ РЕЙКИ .....	36
3.5. ВИМІРЮВАННЯ ПО ЗУСИЛЛЯМ НА ШПАЛИ.....	39
3.6. ВИМІРЮВАННЯ ПО ПРОГИНУ В РЕЙЦІ.....	43
3.7. ВИМІРЮВАННЯ ЗА РІВНЕМ АКУСТИЧНОЇ ЕМІСІЇ.....	45
3.8. ВИМІРЮВАННЯ ПО ШУМУ .....	45
3.9. СУМІСНІ МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ .....	47
Висновки до розділу 3.....	51
<b>ВИСНОВКИ .....</b>	<b>51</b>
<b>СПИСОК ЛІТЕРАТУРА.....</b>	<b>52</b>

## ВСТУП

На сьогоднішній час візуальний огляд на пункті технічного обслуговування (ПТО) є основним методом, при якому виявляються дефекти поверхні кочення коліс. Однак на достовірність та якість контролю негативно впливає безліч факторів. Через конструктивні особливості візка візуальному огляду піддається лише 75 % кола кочення колеса, а результат контролю багато в чому залежить від кваліфікації оглядача, умов проведення контролю, метрологічних характеристик використовуваного обладнання. Поява дефектів на поверхні кочення колеса носить випадковий характер, що підвищує вимоги до якості контролю, що проводиться.

Для контролю поверхні кочення колісних пар у русі на закордонних вітчизняних залізницях набув поширення метод діагностики, заснований на вимірюванні показників динаміки взаємодії коліс та рейок та порівнянні їх з критичними значеннями (Dafur, Scalex Wild, Wild). Як первинні перетворювачі в таких системах контролю використовуються тензодатчики, вібраційні датчики, силівимірювальні датчики та їх комбінації. До недоліків використання силівимірювальних датчиків відносять необхідність зміни конструкції колії, оскільки їх вихідні сигнали суттєво залежать від зовнішніх умов та стану колії. Силівимірювальні датчики не дозволяють достовірно реєструвати процеси, що швидко протікають для виявлення коротких нерівностей (повзуни, навари, вищербини). Вібраційні датчики мають високу чутливість до коливань, викликаних ударним впливом коліс з дефектами поверхні кочення, але не дозволяють реєструвати вертикальні і бокові сили і мають низьку стійкість до шумів, що виникають при проковзуванні колісної пари (КП) по рейці.

У сучасних умовах розвитку діагностичної та вимірювальної мікропроцесорної апаратури першочергову важливість при контролі коліс під час руху набувають методичні питання. Труднощі, пов'язані з виділенням у сигналі первинних перетворювачів інформативних складових та оцінкою за ними параметрів дефекту, досі практично не вивчені. Тим часом реалізація методики контролю коліс у русі потребує повної автоматизації та досить високої

точності вимірювань. Для створення методики необхідно провести аналіз ударних впливів колеса про рейці, застосовувати високоточну та одночасно високочастотну тензометричну апаратуру, розробити алгоритми обробки експериментальних даних, спеціалізоване програмне забезпечення, визначити зв'язки інформативних параметрів сигналу з геометричними розмірами та типом дефектів.

*Об'єктом дослідження* в даній роботі є технологія неруйнівного контролю (НК) ходових частин вагонів під час їх руху.

*Предметом дослідження* являється методика виявлення дефектів поверхні кочення колісних пар вантажних вагонів під час їх руху для міжнародних перевезень.

## РОЗДІЛ 1

### ОСНОВИ КОНСТРУКЦІЇ ТА ОСОБЛИВОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ КОЛІСНИХ ПАР РУХОМОГО СКЛАДУ

#### 1.1. Призначення, умови експлуатації та типи колісних пар

Колісна пара є найбільш відповідальним вузлом вагона, від справного стану якого значною мірою залежить безпека руху. Колісні пари несуть на собі масу всього вагона, направляють його по рейковій колії та сприймають жорсткі та різноманітні у напрямку удари від нерівності колії, власних дефектів та стиків рейкової колії. При гальмуванні колісна пара має значний знос від гальмівних колодок, а під час руху юзом на поверхні колеса утворюються повзуни. Особливо швидке зношування гребеня колеса відбувається при проходженні поїздом кривих ділянок колії. Більшість вагонів під час їх експлуатації здійснюють часті зупинки, які відбуваються після спрацювання автоматичних гальм. При гальмуваннях окремі ділянки коліс нагріваються до високих температур і отримують місцеве гартування з утворенням ділянок підвищеної твердості, на яких надалі із-за ударних навантажень з'являються тріщини, що призводять до руйнування металу по поверхні колеса.

Тип колісної пари визначається типом осі та діаметром коліс, а також конструкцією підшипників та способом кріплення їх на осі. Літери РУ і Ш у позначенні типу осі означають: Р – роликівна, тобто для підшипників кочення; У – уніфікована, тобто для вантажних та пасажирських вагонів; Ш – кріплення підшипників на осі за допомогою шайби.

Слід зазначити, що на візках пасажирських вагонів останніх років використовують дискові гальма. У цьому випадку на середній частині осі є місця для кріплення гальмівних дисків. Колісні пари пасажирських вагонів, що експлуатуються зі швидкостями руху понад 160 км/год для збільшення стійкості та зниження зносів мають змінений профіль поверхні кочення колеса.

Колісні пари РУ1-950 та РУ1Ш-950 відрізняються один від одного пристроями шийок осей.

Колісна пара (рис. 1.1) складається з осі із напресованими на неї двома колесами. Зовнішня поверхня колеса, що стикається з рейкою, називається поверхнею кочення. Профіль поверхні кочення має певну форму та розміри.

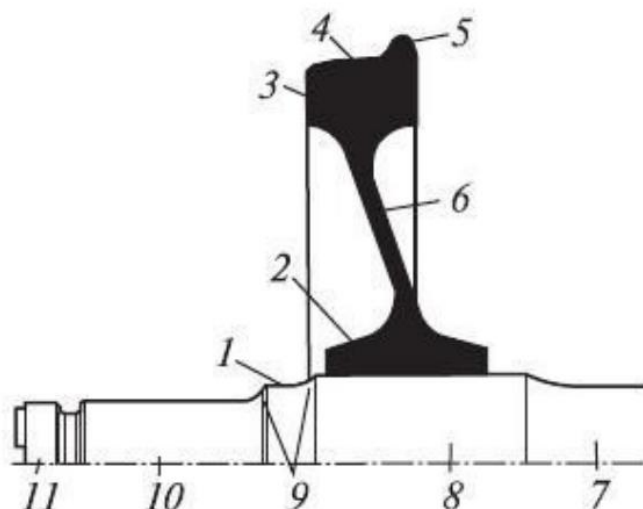


Рисунок 1.1 – Конструкція колісної пари: 1 – передпідступична частина осі; 2 – маточина коліс; 3 – обід колеса; 4 – поверхня кочення; 5 – гребінь; 6 – диск колеса; 7 – середня частина осі; 8 – підступична частина осі; 9 – галтелі - плавні переходи; 10 – шийка осі; 11 – різьблення

Гребінь обода направляє колісну пару і унеможливорює сід вагона з рейкової колії. Колісна пара є тим елементом, який забезпечує безпосередній контакт вагона та колії. Від точності геометричних розмірів та інших параметрів колісної пари значною мірою залежить безпека руху та ходові якості вагона.

Ширина обода нового колеса – 130 мм. Діаметр колеса вимірюють по колу кочення, яким називається сукупність точок на поверхні кочення колеса віддалених від внутрішньої грані на відстань 70 мм. У цьому перерізі слід вимірювати товщину обода колеса. Відстань між колами кочення коліс однієї колісної пари – 1580 мм.

Відстань між внутрішніми боковими поверхнями коліс становить 1439-1442 мм.

### **Конструкція осей**

Вісь служить для розміщення коліс та буксових вузлів. Вона є круглим

стрижнем змінного по довжині поперечного перерізу, кожна частина якого має свою назву і призначення.

Вісь (рис. 1.2) має шийки 1 для розміщення роликів підшипників; передпідступичні частини 2, що служать ступенем переходу від шийки до підступичної частини осі і призначені для встановлення лабіринтних кілець букс; підступичні частини 3, на які міцно насаджують колеса; середню частину 4. Усі частини осі мають циліндричну форму. Середня частина виконується циліндричною або з конічними переходами від підступичних осей до середньої осі. Осі колісних пар із дисковими гальмами мають циліндричну частину з посадковими місцями для гальмівних дисків. Колісні пари з приводом генератора від середньої частини осі можуть мати посадочні місця для установки деталей кріплення приводу на осі.

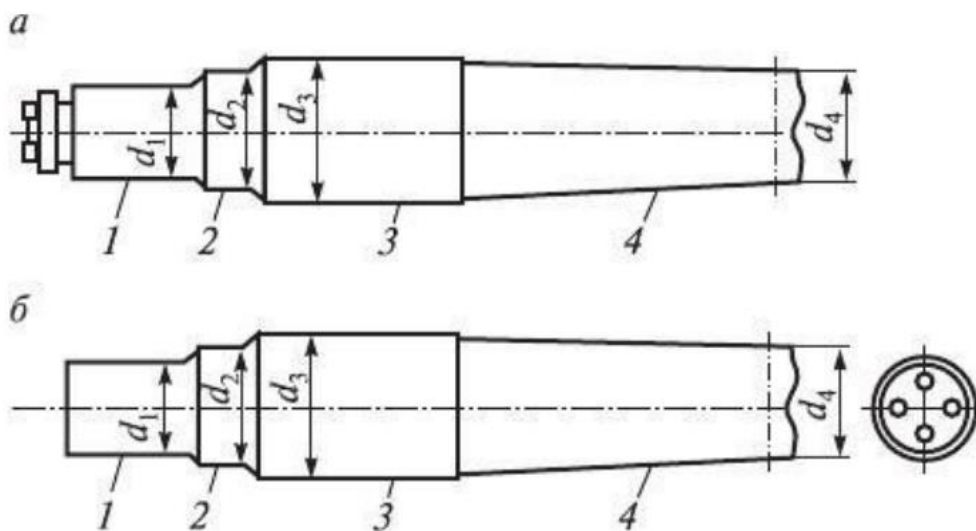


Рисунок 1.2 – Типи осей: *a* – вісь РУ1; *б* – вісь РУ1Ш

Для зниження концентрації напружень у місцях зміни діаметрів осі роблять плавні переходи – галтелі, виконані з певним радіусом. Зниження концентрації напружень, викликаних посадкою деталей підшипників кочення, досягається розвантажувальною канавкою, яка розташована на початку галтелі на шийці осі. На торцях всіх типів осей є центрові отвори для встановлення та закріплення осі або сформованої колісної пари в центрах токарних верстатів. Основною деформацією осі є деформація поперечного вигину. Тому відповідно до

навантажень найменший діаметр мають шийки, а найбільший – підступичні частини. Середні частини мають конічні переходи від підступичних частин до середини осі. Деякі осі мають циліндричну форму середніх частин. Збільшення діаметра підступичної частини осі обумовлено також наявністю напружень від посадки колеса і впливу корозії тертя.

У вагонних колісних парах найбільше застосування знайшли осі двох типів: РУ1 та РУ1Ш. Обидві призначені для розміщення підшипників кочення і відрізняються конструктивним виконанням шийок залежно від способу кріплення торцевого підшипника: гайкою або шайбою. Конструктивне виконання осі РУ1 (рис. 1.2, *a*) характеризується наявністю на її кінцях різьбових частин М110 для гайок, а на торцях – пазів з двома різьбовими отворами (різьба М12) для розміщення стопорних планок і кріплення їх болтами.

Вісь РУ1Ш (рис. 1.2, *б*) має на торцях чотири різьбових отвори (різьблення М20) для кріплення приставної шайби болтами. Вісь при цьому виходить коротшою, а її виготовлення спрощується. В експлуатації є осі з трьома різьбовими отворами. Вільні ділянки торців осей використовують для нанесення клейм та знаків про виготовлення, формування та огляд колісних пар.

Діаметри окремих частин осі  $d_1$ ,  $d_2$ ,  $d_3$  та  $d_4$  (рис. 1.2) відповідно становлять 130, 165, 194 та 172 мм. Гарантійний термін експлуатації осей встановлено 8,5 років, а середній термін експлуатації – 15 років.

Завершено випробування порожнистих осей. Їх застосування обумовлено тим, що найбільші напруження при згині та крученні виникають у зовнішніх волокнах осі та найменші – всередині її. Тому у пустотілих осей величина моментів опору при згинанні, крученні практично така ж, як і у суцільних, але маса у них менша, що дозволяє економити метал. Пустотілі осі можуть бути виготовлені прокаткою на спеціальних верстатах. Порівняно з суцільними осями порожнисті осі мають масу на 100-110 кг менше, у результаті витрата металу виготовлення осі скорочується на 15 %. Вісь має збільшений діаметр підступичної частини, що дозволяє підвищити міцність з'єднання колеса з віссю.

Вагонні осі виготовляють із сталі ОС методом ковки, штампування, гвинтової прокатки або радіально-ротаційного гарячого деформування. У процесі виготовлення осі проходять спеціальну термообробку – нормалізацію з обов'язковою перевіркою механічних характеристик. Осі повинні бути піддані механічній обробці та зміцненню накаткою роликками по всій довжині осі, включаючи галтелі. Кожна вісь при виготовленні та ремонті випробовується магнітопорошковим та ультразвуковим методами неруйнівного контролю та вибірково – на розтягування та твердість.

### **Конструкція коліс**

Вагонні колеса, особливо поверхня кочення, є частинами вагона, що найбільш зношуються і пошкоджуються, тому до матеріалу коліс, їх розмірів, форми і технології виготовлення завжди пред'являлися підвищені вимоги. На підставі багаторічного досвіду експлуатації в даний час до серійного виготовлення прийняті цільнокатані сталеві колеса з номінальним діаметром 957 мм.

Конструкція та основні розміри колеса наведені на (рис. 1.3). Суцільнокатане колесо має обід 1, диск 2 і маточину 3; ширина обода – 130 мм. Поверхня обода 4 називається поверхнею кочення. Перехід від маточини до обода виконаний у формі диска, розташованого під деяким кутом до цих частин, що надає колесу пружність та знижує вплив динамічних сил. Диск злегка конусний: у маточини його товщина більша, ніж у обода. Товщина обода – 70 мм. Внутрішня поверхня обода *a* називається внутрішньою гранню, а зовнішня *б* – зовнішньою.

Профіль кочення колеса – контур, яким утворена поверхня кочення (рис. 1.4). Правильно обрані та забезпечені механічною обробкою розміри профілю кочення мають важливе значення для раціональної взаємодії коліс з рейками, стійкості вагона від сходів, ступеня збільшення зношування коліс та плавності ходу вагона.

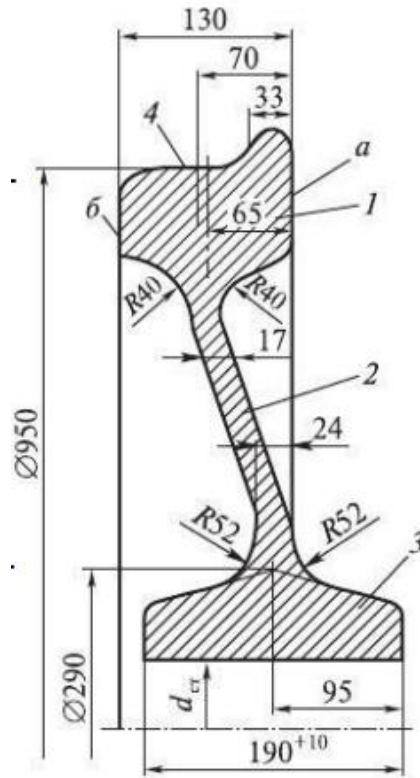


Рисунок 1.3 – Суцільнокатане колесо

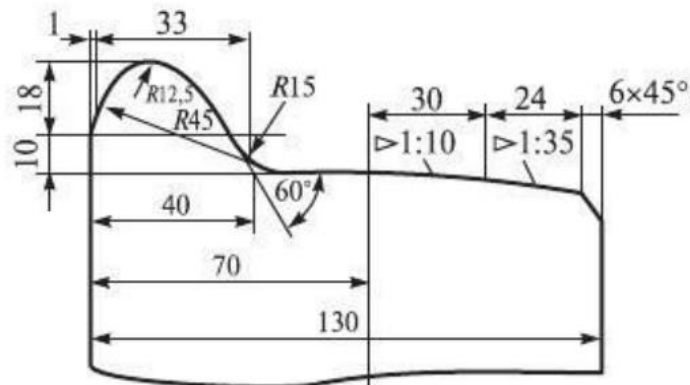


Рисунок 1.4 – Профіль кочення колеса

Стандартний профіль поверхні кочення (рис. 1.4) утворений гребенем, округленням 15 мм, як у головки рейки, для зниження зносу, конічною поверхнею з конусностями 1:10, 1:3,5 і фаскою  $6 \times 45^\circ$ .

Гребінь спрямовує рух і унеможливорює схід колісної пари з рейкової колії. Він має висоту 28 мм та товщину 33 мм, виміряну на висоті 18 мм; кут нахилу зовнішньої грані гребеня становить  $60^\circ$ . Наявність конусностей 1:10 та 1:3,5

центрує колісну пару на рейковій колії та забезпечує проходження кривих ділянок колії. Враховуючи складні умови експлуатації коліс, матеріал обода повинен мати велику міцність, ударну в'язкість і зносостійкість; метал маточини та диска – необхідну в'язкість (пружність). Ободи коліс для забезпечення зазначеним вимогам піддають після механічної обробки термічній обробці шляхом переривчастого гартування і відпускання.

Умови експлуатації коліс вантажних та пасажирських вагонів різні, тому їх виготовляють із різних матеріалів. Пасажирські вагони експлуатуються з високими швидкостями та частими гальмуваннями, зупинками, тому для коліс пасажирських вагонів локомотивної тяги та немоторних вагонів електро- та дизель-поїздів застосовується сталь менш схильну до гартування – сталь марки «Л». Колеса вантажних вагонів працюють в умовах більш високих напружень в контакті колеса та рейки, тому для таких коліс використовується сталь марки 2 зі збільшеним вмістом вуглецю до 0,55-0,65 %, а в даний час – сталь марки «Т» з твердістю обода 320-360 НВ.

Для перспективних вагонів із осьовими навантаженнями 25-30 тс освоєно виробництво коліс зі сталей марок «Т» або 2 із криволінійним диском. Як показав досвід експлуатації, колеса зі сталі марки «Т» у 9-10 разів рідше вимагають ремонту обточуванням, і злам дисків у таких колесах практично припинився. Криволінійна форма диска та збільшення його товщини біля обода до 19-22 мм значно підвищили міцність коліс.

У процесі виготовлення коліс на боковій поверхні обода із зовнішнього боку в гарячому стані наносять спеціальні знаки та тавра в послідовності: дві останні цифри року виготовлення, марка сталі колеса, номер плавки, номер підприємства-виробника, тавро приймання, порядковий номер колеса, а також тавро держав-власників. Сучасні методи термообробки дозволили довести твердість матеріалу обода до 350-380 НВ, що забезпечує значне збільшення терміну експлуатації колісних пар до утворення гранично допустимих дефектів. Диск зміцнюється наклепуванням дробом, товщина обода забезпечує можливість

багаторазового відновлення профілю поверхні кочення шляхом обточування колісних пар на верстатах у вагоноремонтних підприємствах.

Профіль колісних пар поїздів, що експлуатуються зі швидкостями понад 160 км/год, змінено і має додаткову конусність 1:50, а також збільшений до 65° кут нахилу зовнішньої грані гребеня. Крім того, цей профіль має горизонтальну площадку довжиною 9,3 мм, що розташована від кола кочення до внутрішньої грані колеса. Така форма профілю зменшує виляючий рух колісних пар, підвищує їх стійкість, що особливо важливо зі збільшенням швидкостей руху.

## **1.2. Формування колісних пар**

Формування колісних пар є однією з відповідальних операцій із виробництва колісних пар, від якої багато в чому залежить безпека руху поїздів, а також довговічність колісних пар. Формування колісної пари – це процес збирання двох коліс з віссю. При формуванні мають бути дотримані технічні вимоги.

1. Посадка коліс на вісь має бути пресовою. При запресуванні коліс на вісь на гідравлічних пресах повинен здійснюватись запис діаграми сила - переміщення. Швидкість руху плунжера преса при запресуванні має бути не більше 3 мм/с.

2. Колеса та вісь перед запресуванням повинні мати однакову температуру (допускається різниця температур не більше 10°C за умови перевищення температури колеса над температурою осі).

3. Перед запресуванням поверхні отворів ступиць коліс і підступичних частин осі повинні бути ретельно очищені, насухо протерті і покриті рівним шаром термообробленого масла. Оліфа та масло, що застосовуються, повинні відповідати вимогам стандартів на виготовлення.

4. Якість пресового з'єднання коліс з віссю має контролюватись за діаграмою запресування. При оцінці діаграми слід перевірити значення кінцевих умов запресування, довжину сполучення та форму кривої.

5. Значення кінцевих зусиль запресування залежить від діаметра

підступичної частини осі, його приймають у межах 370 – 550 кН на кожні 100 мм діаметра, при цьому значення натягів має бути в межах 0,1 – 0,25 мм.

6. Різниця діаметрів коліс по колу кочення в одній колісній парі не повинна перевищувати 1 мм.

7. Колісні пари, призначені для вагонів, що експлуатуються в поїздах зі швидкістю понад 140 км/год, повинні бути піддані динамічному балансуванню. Значення дисбалансу, що допускається, повинно бути не більше 0,6 кгм.

8. Кожна колісна пара повинна піддаватися приймальним випробуванням. При цьому колісна пара повинна бути піддана зовнішньому огляду та вимірювальному контролю відповідності вимогам технічної документації на її виготовлення. Вимірювальний контроль слід проводити до монтажу буксових вузлів за температури виробничого приміщення.

9. На торці шийки осі колісної пари в холодному стані повинні бути чітко вибиті знаки маркування та таврування. Розташування знаків маркування та клейм має відповідати вимогам інструкції на формування колісних пар.

Формування колісних пар виконують у колісному цеху вагоноремонтного, вагонобудівного заводів або вагонних колісних майстерень (ВКМ), оснащених гідравлічними пресами. Поверхні коліс і осі, що з'єднуються, обробляють на верстатах до потрібних розмірів і шорсткості, змащують маслом і виконують в холодному стані напресовування коліс на вісь зусиллям до 110 тс. Якість напресування контролюють діаграмою, отриманою при напресуванні кожного колеса. Нормальна діаграма має вигляд опуклої кривої, що плавно росте вгору.

У сформованій колісній парі перевіряють розміри, які повинні відповідати даним (табл. 1.1).

### **Способи формування.**

Основним широко поширеним способом з'єднання колеса з віссю є пресова посадка, що здійснюється в холодному зєднуючих елементів осі і колеса.

В останні роки проводилися дослідження з теплової посадки, при якій нагріту маточину колеса вільно надягали на вісь; після остигання колесо міцно

з'єднується з віссю. Теплова посадка значно спрощує процес складання коліс з віссю, забезпечує з'єднання поверхонь, що з'єднуються без механічних пошкоджень (без задирок), при цьому підвищується зусилля розпресування, по якому зазвичай оцінюють надійність з'єднання колеса з віссю.

Таблиця 1 – Основні розміри колісної пари

Розмір	Найменший, мм	Номінальний, мм	Найбільший, мм
Відстань між внутрішніми поверхнями коліс	1439	1440	1442
Відхилення відстаней між внутрішніми поверхнями коліс, виміряних у чотирьох точках, розташованих у двох взаємно перпендикулярних площинах	0	0	1,5
Діаметр по колу кочення коліс	950	950	964
Відхилення діаметрів по колу кочення у однієї колісної пари: без обточування	0	0	1
з обточуванням	0	0	0,5
Овальність по колу кочення	0	0	0,5
Ширина обода	130	130	133

Поряд із зазначеними перевагами теплової посадки має суттєві недоліки:

- збільшується собівартість складання колісної пари внаслідок підвищення витрат на нагрівання коліс;
- виникає необхідність розширення площі цеху на величину ділянки для охолодження колісних пар після формування;
- ускладнюється знімання колеса з осі, так як при цьому потрібно попереднє нагрівання колеса;
- відсутній надійний спосіб контролю якості пресового з'єднання колеса з віссю.

Ці та інші недоліки, виявлені при експлуатаційних випробуваннях колісних пар, сформованих тепловим способом, спричинили рішення утриматися від застосування теплової посадки.

Для отримання пресового з'єднання необхідно і достатньо виконати діаметр підступичної частини осі трохи більше діаметра отвору ступиці колеса. Різниця цих діаметрів називається натягом. При формуванні колісних пар для вагонів натяг приймають в межах 0,1-0,25 мм, що забезпечують підбором і пригонкою коліс, що збираються з віссю. Цей метод дозволяє виконувати розміри осі, що з'єднуються, і колеса зі зниженою точністю, а також дає можливість застосовувати для їх обробки універсальне обладнання нормальної точності.

При складанні колісної пари необхідну точність з'єднання досягають зміною розміру однієї з деталей при її остаточній обробці.

Попереднє складання коліс з віссю для запресування виконують на складальному стенді. Перед складання на шийки осі надягають алюмінієві склянки (гільзи), які захищають їх і посадкові поверхні маточини коліс від вибоїн, а також є направляючими для надягання коліс на вісь і просування їх до країв підступичних частин осі. Посадочні поверхні ступиць коліс і підступичні частини осі ретельно насухо протирають і наносять рівний шар натуральної оліфи.

Попередньо зібрану колісну пару на складальному стенді подають на прес для остаточного формування.

Процес запресування коліс на вісь повинен виконуватися при строго горизонтальному положенні осі і співпадинні її геометричної осі з віссю плунжера преса (рис. 1.5). Цього положення осі досягають, встановлюючи колісну пару на вивірені опори візка преса (база – середня частина осі). Запресування коліс відбувається послідовно в два переходи: при першому переході (вісь – колесо) вісь запресовують у праве колесо, а при другому (колесо – вісь) – ліве колесо напресовується на вісь. У процесі виконання кожного переходу витримують розмір  $720_{-1,0}^{+0,5}$  від середини осі до внутрішньої грані обода колеса, що запресовується, контролюючи його дотримання за шаблоном. Після запресування сформовану колісну пару спеціальним пристроєм опорного візка преса зіштовхують на рейкову колію, де її оглядають та контролюють основні розміри. Якість пресового з'єднання коліс з віссю контролюють за діаграмами

запресування, записаними приладом (індикатором) преса для кожного колеса.

До основних контрольованих параметрів індикаторної діаграми запресування відносяться: кінцеве зусилля  $P_{\text{е.к.}}$ , довжина з'єднання  $L$ , форма кривої.

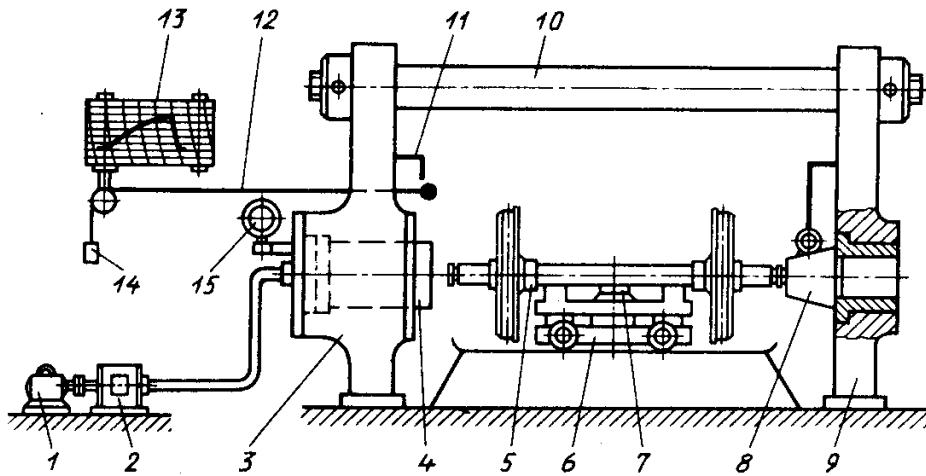


Рисунок 1.5 – Схема гідравлічного преса для формування колісних пар:  
1 – електродвигун; 2 – насос; 3 і 9 – відповідно передня та задня стійки преса;  
4 – плунжер; 5 – колісна пара; 6 – візок для встановлення колісної пари;  
7 – пневматичний виштовхувач; 8 – відкидна опора; 10 – траверса преса;  
11 – відкидний упор для першого переходу запресування; 12 – трос індикатора;  
13 – індикатор; 14 – вантаж тросика; 15 – манометр

Кінцеве зусилля  $P_{\text{е.к.}}$  на діаграмі запресування визначається положенням точки, що відповідає кінцю процесу запресування (рис. 1.6). Зусилля запресування і міцність пресового з'єднання залежать від натягу, шорсткості поверхонь, що з'єднуються, твердості їх матеріалів, геометричних розмірів і форми з'єднаних елементів, якості мастильного матеріалу, швидкості запресування і температурних умов, в яких відбувається процес формування. Твердість матеріалу підступичної частини осі практично не впливає на зусилля запресування, а твердість матеріалу колеса впливає суттєво.

Отже, для кожної окремої партії коліс, що підлягають формуванню, стосовно їх твердості необхідно коригувати натяг відповідно до результатів запресування перших коліс даної партії. Різниця похибок виготовлення коліс та

осей обумовлює розбіжність центру мас сформованої колісної пари з віссю обертання. Такі колісні пари неврівноважені, і їхня робота супроводжується негативним впливом на елементи залізничної колії та на буксові підшипники. Неврівноважені колісні пари при встановленні їх на поїзд, що рухається зі швидкістю понад 140 км/год, піддають динамічному балансуванню.

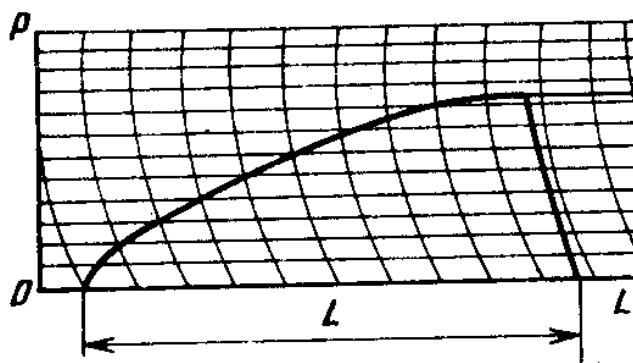


Рисунок 1.6 – Теоретична діаграма запресування

Процес балансування складається з двох етапів: визначення дисбалансу та усунення дисбалансу.

Динамічне балансування колісних пар вагонів виконують на спеціальному балансувальному стенді, з механізмом визначення дисбалансу і пристроєм з фрезерною головкою для його усунення шляхом зняття металу по внутрішній кромці обода колеса.

### Висновки до розділу 1

- розглянуто типи та умови експлуатації колісних пар рухомого складу;
- проаналізовано технологію пресової та теплової посадки колеса на вісь колісної пари, наведено основні переваги та недоліки даних способів;
- відзначено, що на сьогоднішній час візуальний огляд на пункті технічного обслуговування є основним методом, при якому виявляються дефекти поверхні кочення коліс.

## РОЗДІЛ 2

### КЛАСИФІКАЦІЯ ДЕФЕКТІВ ТА СПОСОБИ КОНТРОЛЮ КОЛІС КОЛІСНИХ ПАР РУХОМОГО СКЛАДУ

#### 2.1. Особливості контролю технічного стану колісних пар

При взаємодії колії та рухомого складу виникають напруження в точках контакту коліс з рейками. В результаті цих напружень під час руху коліс по рейках відбувається природний знос поверхонь, що труться, а також їх пружні пластичні деформації і втомні руйнування.

Вісь колісної пари працює під впливом великих статичних та динамічних навантажень і піддається знакозмінним напруженням згину. Вісь відчуває додаткові напруження в місцях пресових з'єднань з колесами і сприймає удари від рейок за наявності дефектів на поверхні кочення.

#### Система контролю технічного стану колісних пар

Для утримання колісних пар вагонів у справному стані встановлено порядок та строки їх огляду, ремонту та формування.

Огляд колісних пар проводиться безпосередньо під вагоном та здійснюється: при технічному обслуговуванні вагонів у транзитних поїздах, на станціях формування та обороту поїздів, на станціях, де передбачено стоянку для технічного огляду вагонів, при відчіпному ремонті вагона, на пунктах технічного обслуговування вагонів, на контрольних постах та інших пунктах, де передбачено технічне обслуговування вагонів. Огляд колісних пар під вагонами дозволяє виявити такі несправності, як повзуни, тріщини в колесі та на середній частині осі, оцінити величину прокату, що дає можливість вчасно вжити заходів щодо їх усунення або вилучити колісну пару з експлуатації.

Огляд колісних пар поділяють на два види: звичайний та повний.

Звичайний огляд колісних пар проводять при кожному підкочуванні під вагон і здійснюють у два етапи: попередньо та остаточно. Попередньо колісну пару оглядають до її очищення від забруднень і за рядом ознак виявляють такі

несправності, як тріщини в осі та колесах, а також ослаблення або зсув маточини колеса на осі.

Про наявність тріщини свідчать валик із пилу та іржі у сиру погоду, взимку такий валик покривається інеєм, причому розмір голок інію більший, ніж в інших місцях, де немає тріщин. Здуття шару фарби в місцях з'єднання внутрішньої кромки маточини колеса з віссю є ознакою прихованої тріщини в підступичній частині осі під колесом.

Остаточний огляд колісної пари при звичайному огляді проводять після її очищення від бруду та масла. При цьому особливу увагу приділяють несправностям, виявленим при попередньому огляді, перевіряють середню частину осі магнітним дефектоскопом, а також стан елементів і відповідність їх розмірів і зносів встановленим вимогам.

Повний огляд колісних пар проводять при їх ремонті та формуванні зі зміною елементів; після випробування колеса на зсув; за повної ревізії букс; при капітальному ремонті вагонів; після сходу вагона з рейок; через одне обточування коліс за профілем поверхні обода (колісні пари, на яких монтується редуктор приводу генератора від торця осі та колісні пари, які експлуатують під шести- і восьмивісними вагонами піддаються повному огляду перед кожним обточуванням коліс).

При повному огляді колісну пару попередньо оглядають, після чого демонтують букси, очищають від бруду та старої фарби, а потім миють у спеціальних мийних машинах. Виміту колісну пару ретельно оглядають, виконують магнітне дефектоскопіювання середньої частини, шийок осі, а також перевірку підступичних частин ультразвуком, вимірювання всіх елементів колісної пари, на підставі чого визначають об'єм ремонту.

Колісну пару, яка поступила в колісний цех, оглядають. При огляді вимірюють відстань між внутрішніми гранями коліс штихмасом у чотирьох точках, які розташовані у двох взаємно перпендикулярних площинах. При вимірюванні виявляється можлива різниця відстаней (рис. 2.1).

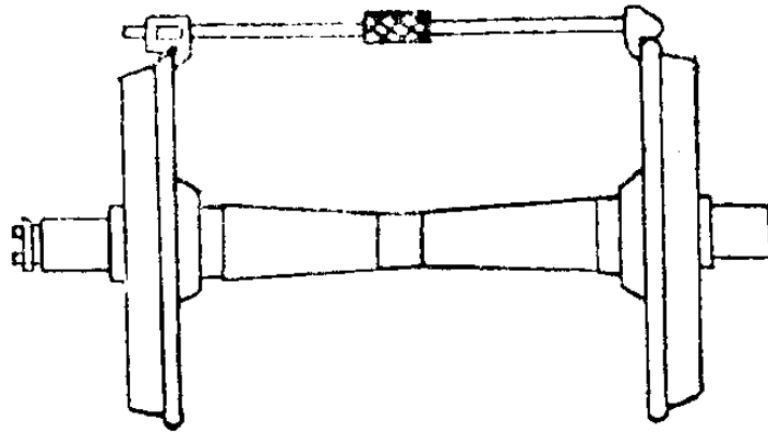


Рисунок 2.1 – Положення штихмаса при вимірюванні відстані між внутрішніми гранями коліс

Діаметри коліс вимірюють по колу кочення штангенциркулем у двох взаємно перпендикулярних площинах. При вимірюванні виявляється можлива різниця діаметрів та овальність коліс (рис. 2.2).

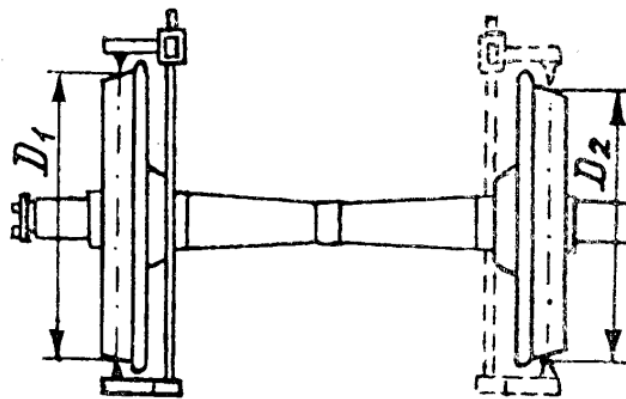


Рисунок 2.2 – Положення штангенциркуля при вимірюванні діаметрів коліс по колу кочення

Відстань між торцями осі та внутрішніми гранями коліс вимірюють приладом для визначення різниці насадки (рис. 2.3). Основу приладу встановлюють на шийку осі з упором обмежувача основи в торець шийки або передпідступичної частини, а вимірювальну пересувну лінійку доводять до зіткнення з внутрішньою гранню колеса. Відлік ведуть за шкалою лінійки. Цим приладом визначають ексцентричність коліс, для чого прилад обладнується індикаторною голівкою, ніжка якої підводиться до поверхні колеса по колу

кочення (рис. 2.3). Повертаючи колісну пару на повний оберт, виявляють ексцентриситет.

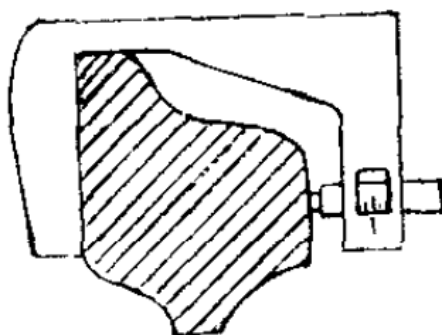


Рисунок 2.3 – Положення універсального приладу для перевірки різниці відстаней від торця осі до внутрішньої грані колеса та ексцентриситету колеса

Профіль обточеного колеса перевіряють максимальним шаблоном, що має по привальній поверхні контур стандартного профілю вагонного колеса (рис. 2.4).

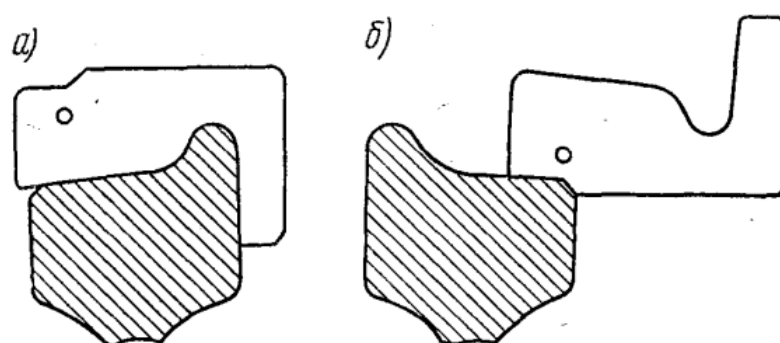


Рисунок 2.4 – Вимірювання профілю колеса максимальним шаблоном: *a* – профілю обточеного колеса та початку скошу фаски; *б* – фаски на зовнішній грані колеса

Вісь колісної пари вимірюють і контролюють наступним чином: діаметри середньої та підступичних частин осі – кронциркулем; діаметри шийок – мікрометричною важільною скобою з ціною поділки 0,001 мм (рис. 2.5), при цьому виявляється можлива овальність та конусність шийки; діаметри передпідступичних частин – мікрометром із ціною поділки 0,01 мм.

Товщину обода колеса вимірюють по колу кочення товщиноміром. Для цього

вимірювальну лінійку приладу притискають до внутрішньої грані обода по радіусу колеса, а горизонтальну пересувну планку опускають до упору, попередньо встановленого на відстані 70 мм від вимірювальної лінійки, в поверхню кочення. Відлік за вимірювальною лінійкою покаже результат (рис. 2.6).

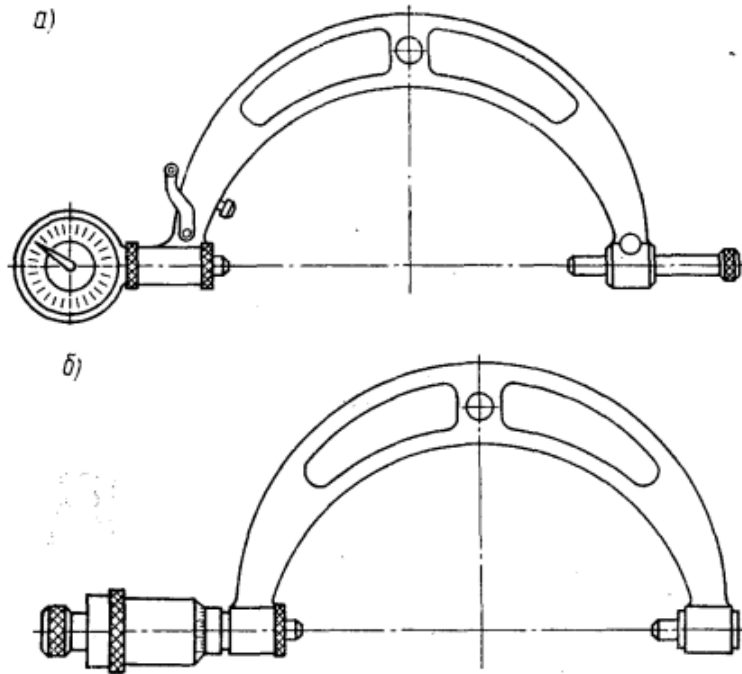


Рисунок 2.5 – Мікрометрична важільна скоба: *a* – з індикатором; *б* – без індикатора

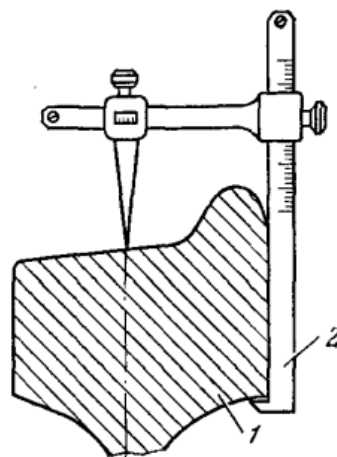


Рисунок 2.6 – Вимірювання товщини обода колеса товщиноміром: 1 – обід; 2 – товщиномір

Ширину обода колеса вимірюють кронциркулем за допомогою звичайної вимірювальної лінійки або шаблоном із вбудованою в нього висувною вимірювальною лінійкою (рис. 2.7). Шаблон встановлюють на обід колеса, притискають до внутрішньої грані і, висуваючи лінійку до упору в зовнішній торець обода, читають показання вимірювальної шкали.

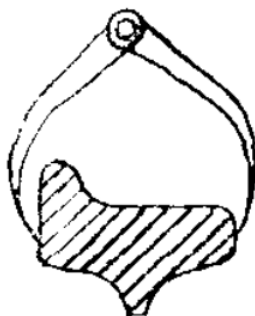


Рисунок 2.7 – Вимірювання ширини обода колеса

Величину прокату в площині кола кочення і товщину гребеня колісної пари, яка експлуатується, що надходить у ремонт, вимірюють абсолютним шаблоном (рис. 2.8).

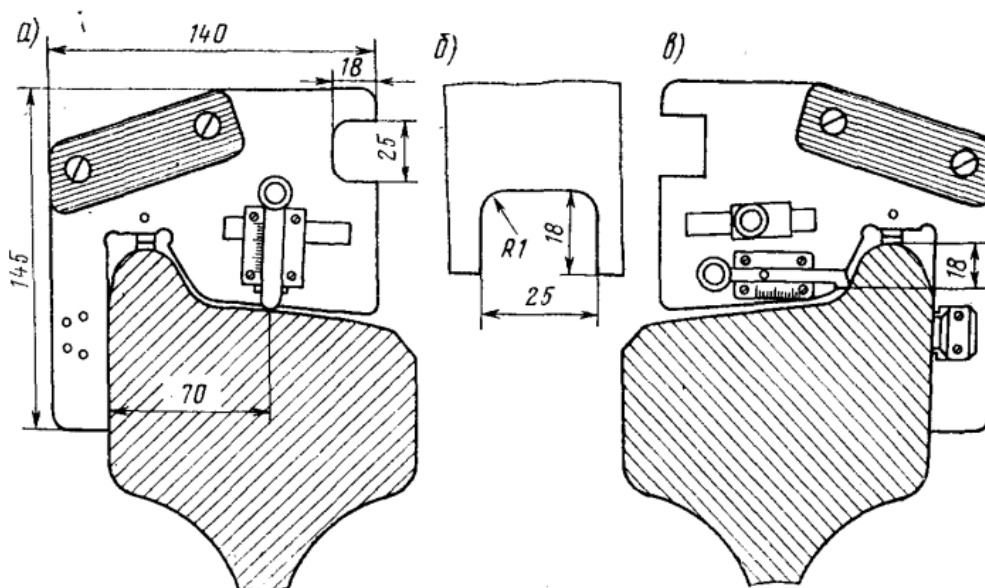


Рисунок 2.8 – Вимірювання величини прокату та товщини гребеня абсолютним шаблоном: *а* – вимірювання величини прокату колеса; *б* – розміри спеціального вирізу шаблону для перевірки товщини гребеня; *в* – вимірювання товщини гребеня

Товщину гребеня перевіряють на ПТО (пунктах технічного обслуговування) спеціальним вирізом абсолютного шаблону, як показано на (рис. 2.9). Для виконання вимірювань шаблон встановлюють на профіль колеса так, щоб його привальна частина притискалася до внутрішньої грані колеса, а опорна його поверхня лягала на гребінь.

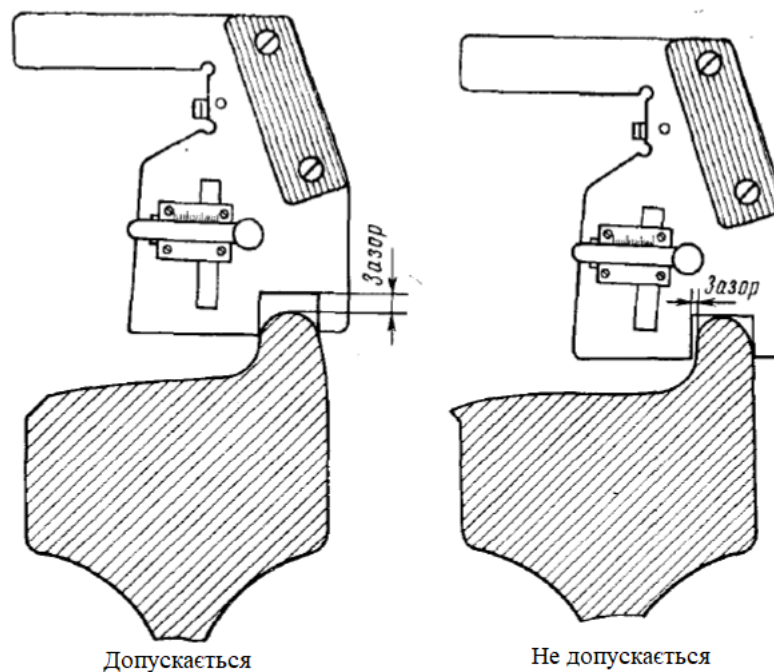


Рисунок 2.9 – Перевірка товщини гребеня колеса спеціальним вирізом абсолютного шаблону

Опускаючи вертикальний повзунок до упору в поверхню кочення, а горизонтальний повзунок пересуваючи до упору у внутрішню частину гребеня, отримуємо значення по шкалах повзунків. При замірюванні прокату по колу кочення, як правило, вертикальний повзунок повинен бути задалегідь встановлений на відстані 70 мм від грані шаблону. Глибина повзуна також вимірюється абсолютним шаблоном – висуванням ніжки вертикального повзунка.

Вертикальний підріз гребеня вимірюють спеціальним шаблоном (рис. 2.10), привальну частину якого щільно притискають до внутрішньої грані колеса.

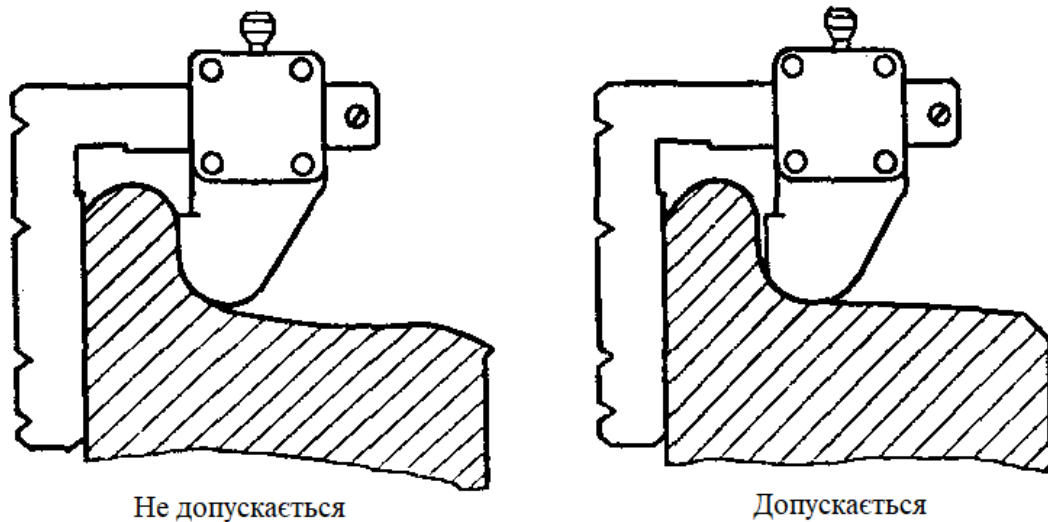


Рисунок 2.10 – Вимірювання вертикального підрізу гребеня колеса спеціальним шаблоном

Після обміру елементів колісної пари шаблонами та визначення об'єму ремонту, колісна пара надходить у колесотокарне відділення для обточування поверхонь кочення коліс.

## 2.2. Вимоги нормативних документів України та ЄС щодо технічного утримання колісних пар

На залізницях України застосовуються колісні пари для вантажних вагонів типів РУ1Ш-957-Г, РВ2Ш-957-Г за ДСТУ ГОСТ 4835-2006 «Колісні пари вагонів магістральних залізниць колії 1520 мм. Технічні умови (ГОСТ 4835-2006, IDT)», сформовані з безбандажних цілісних коліс діаметром по колу кочення 957 мм [1].

Контролюючі параметри:

- відстань між внутрішніми боковими поверхнями ободів коліс в одній колісній парі (максимальне значення 1442 мм, мінімальне значення 1439 мм);
- різниця відстаней між внутрішніми боковими поверхнями ободів коліс – не більше 1,5 мм;
- різниця діаметрів коліс по колу кочення в одній колісній парі – не більше 1,0 мм;
- різниця відстаней від торців передпідступичних частин осі до внутрішніх

бокових поверхонь ободів коліс з однієї та іншої сторін колісної пари – не більше 3,0 мм.

Відповідно до вимог Правил технічної експлуатації на залізницях України [2] заборяється випускати в експлуатацію і допускати до руху в поїздах рухомий склад:

- з тріщиною в будь-якій частині осі колісної пари чи тріщиною в ободі, диску і ступиці колеса;

- за наявності гострокінцевого накату на ділянці з'єднання підрізаної частини гребеня колісної пари з його вершиною, а також при таких зношеннях і пошкодженнях колісних пар, які порушують нормальну взаємодію колії та рухомого складу.

Якщо на шляху прямування у вагона, крім моторного вагона моторвагонного рухомого складу (МВРС), виявлено повзун (вибоїну) глибиною понад 1 мм, але не більше 2 мм, дозволяється довести такий вагон без відчеплення від поїзда (пасажирський із швидкістю не більшою 100 км/год, вантажний – не більшою 70 км/год) до найближчого пункту технічного обслуговування, що має засоби для заміни колісних пар. При величині повзуна у вагонів, крім моторного вагона МВРС, від 2 до 6 мм, у локомотива і моторного вагона МВРС, а також спеціального самохідного рухомого складу – від 1 до 2 мм допускається рух поїзда до найближчої станції із швидкістю 15 км/год, а при величині повзуна відповідно більше 6 до 12 мм і більше 2 до 4 мм – із швидкістю 10 км/год, де колісна пара має бути замінена. При повзуні – понад 12 мм у вагона, понад 4 мм – у локомотива і моторного вагона МВРС дозволяється рух із швидкістю 10 км/год за умови виключення можливості обертання колісної пари.

Стандарт країн ЄС, а саме EN 13715:2006/FPRA1 [3] визначає профілі коліс діаметром більшим або рівним 330 мм, що використовуються на транспортних засобах, що рухаються коліями європейського стандарту, для виконання вимог сумісності. Ці профілі застосовні до нових колес, як окремо, а також до коліс, які вимагають перепрофілювання під час технічного обслуговування. Будь-який

профіль, який не відповідає цьому стандарту, може використовуватися лише за згодою між оператором поїзда та керуючим інфраструктурою.

Крім цього нормативний документ EN 13260:2020 визначає характеристики колісних пар для всіх колій [4].

Цей документ застосовується до колісних пар, виготовлених з елементів, визначених такими європейськими стандартами:

- EN 13262 для коліс [5];
- EN 13261 для осей [6].

## **Висновки до розділу 2**

– розглянуто засоби та технологію контролю технічного стану колісних пар рухомого складу, а саме: універсальний шаблон, максимальний шаблон, мікрометр, товщиномір, абсолютний шаблон, спеціальний шаблон;

– проаналізовано вимоги відчизняних та закордонних нормативних документів щодо технічного утримання колісних пар;

– відзначено, що на даний час вимоги щодо механічних та геометричних параметрів колісних пар у всіх країнах приблизно однакові.

### РОЗДІЛ 3

## ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ВИМІРЮВАНЬ СИЛОВОГО ВПЛИВУ РУХОМОГО СКЛАДУ НА КОЛІЮ ТА СИСТЕМ ТЕХНІЧНОГО КОНТРОЛЮ КОЛІС ПІД ЧАС РУХУ ПОЇЗДА

На поверхні кочення коліс залізничного рухомого складу в процесі експлуатації виникають повзуни, вищербини, навари та інші дефекти, які суттєво збільшують динамічні навантаження на колію та рухомий склад. Виявлення коліс з такими дефектами проводиться оглядачами вагонів на слух при зустрічі поїзда на ходу, а потім після зупинки поїзда зовнішнім оглядом та вимірювання геометричних розмірів дефекту. Знаходження та вимірювання розмірів дефекту на колесі є трудомісткою операцією, що виконується найчастіше у складних погодних умовах, за недостатнього освітлення. Крім того, в залежності від положення колеса при зупинці поїзда дефект може опинитися в зоні, недоступній для вимірювання.

Тому в останні роки намітився перехід від вимірювань геометрії дефектів до визначення сил впливу коліс з дефектами на залізничну колію або інших сигналів, що супроводжують рух колеса, з дефектом на залізничну колію.

Такий підхід є більш правильним. Адже саме динамічні сили, що виникають під час кочення коліс з дефектами по рейках, призводять до втомних пошкоджень рейок, коліс, підшипників та інших елементів ходових частин. В даний час у світі розроблено близько десятка способів виявлення дефектних коліс, які надалі застосовуються в автоматизованих комплексах діагностики рухомого складу при експлуатації поїзда.

Комплекси діагностики, що використовуються в різних країнах, відрізняються один від одного способами і засобами вимірювань сил, системами градування, точністю вимірювань і граничними значеннями показників, за якими проводиться бракування коліс. Надалі з метою вибору перспективних способів виявлення дефектів коліс на ходу поїзда проведемо огляд існуючих методів та вимог до перспективних систем діагностики та необхідної нормативної бази.

Аналіз вітчизняного та світового досвіду оцінки вертикального впливу рухомого складу на колію дозволяє всі відомі методи класифікувати таким чином:

- вимірювання за напруженнями або деформаціями в рейці;
- вимірювання по зусиллям на шпали;
- вимірювання по прогину рейки;
- вимірювання по прискоренням рейки або інших елементів верхньої будови колії;
- вимірювання за рівнем акустичної емісії;
- вимірювання за рівнем шуму;
- суміщені методи вимірювання.

За тривалістю вимірювань та охоплення всієї поверхні кочення колеса їх можна розділити на: точкові (вимірювання проводяться в момент проходження датчика колесом); кусково-безперервні (вимірювання проводяться періодично при проходженні частини кола колеса, поступово охоплюючи всю поверхню кочення); безперервні (вимірювання ведуться під час всього обороту колеса або навіть кількох обертів).

### **3.1. Вимірювання за напруженнями або деформаціями в рейці**

Вимірювання сил взаємодії між колесом і рейкою становлять самостійний науковий та практичний інтерес навіть при коченні колеса без дефектів. Їхні результати використовуються для оцінки як міцності самої колії, так і динамічних якостей вагонів.

Оскільки максимальні напруження виникають в кромках підошви рейки, то спочатку сили, що діють на рейку від колеса рухомого складу, визначали за їх кореляційними залежностями від напівсуми та напіврізності кромкових напружень, виміряних в одному поперечному перерізі рейки датчиками 1 і 2 (рис. 3.1). Незважаючи на хорошу кореляційну залежність, похибка вимірювання сил, що діють у контакті колеса та рейки, по кромкових напруженнях в рейці могла становити близько 30%. Основним недоліком такого способу вимірювання є

залежність результатів вимірювання від пружних властивостей колії [7].

**Вимірювання по напруженнях у трьох точках:** у кромках підшви рейки та у зовнішньому перерізі головки рейки.

Пізніше під керівництвом Є. М. Бромберга був розроблений, а в роботі [8] О. П. Єршковим теоретично обґрунтований і практично реалізований точніший експериментальний метод вимірювання сил, що діють в одному поперечному перерізі рейки, шляхом одночасної реєстрації напружень у трьох точках («треточковий» метод) – вимірювання напружень у кромках підшви рейки (тензорезистори 1 і 2) та у зовнішньому перерізі головки рейки (тензорезистор 3) з подальшим обчисленням алгебраїчної комбінації розрахункових напружень (рис. 3.1).

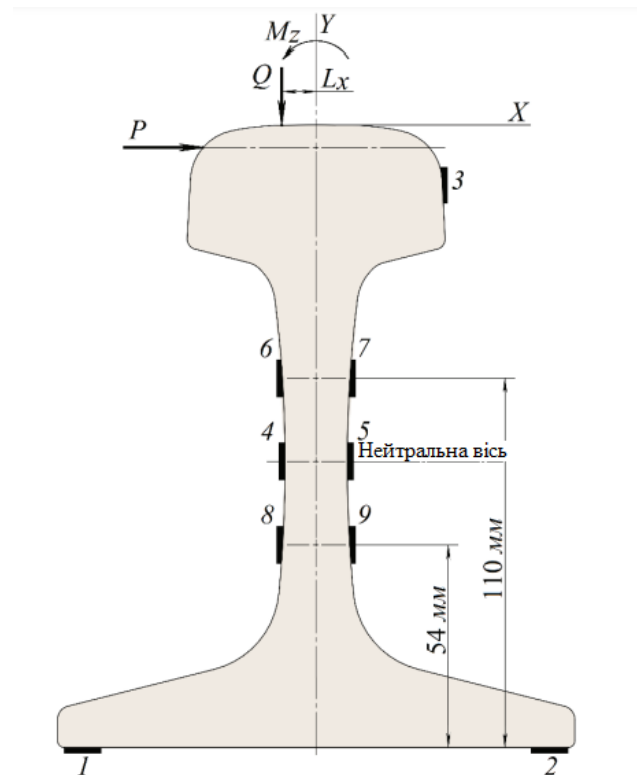


Рисунок 3.1 – Варіанти наклепки тензорезисторів на шийку рейки для визначення силової дії рухомого складу на колію: 1-9 – номери тензорезисторів;  $Q$  – вертикальна сила;  $P$  – бокова сила;  $M_z$  – згинальний момент;  $X, Y$  – напрямки осей системи координат

В основі методу лежить розроблена М. Ф. Веріго та О. П. Єршковим теоретична залежність між напруженнями в підшві рейки, що викликаються

дією крутного моменту та бокової сили.

Слід зазначити, що точність вимірювання напружень в рейці при застосуванні даного методу практично не залежить від можливого на практиці вибору місця для установки тензорезисторів в одному поперечному перерізі рейки. Однак через відсутність у той час обчислювальних потужностей «триточковий» метод О. П. Єршкова в подальшому був замінений на метод Шлюмпфа.

### **3.2. Вимірювання за нормальним напруженням на шийці рейки**

В даний час для визначення сил в контактні колеса та рейки можна застосовувати метод вимірювання нормальних напружень тензорезисторами 4, 5 (рис. 3.1), встановленими вертикально з двох сторін в одному перерізі на нейтральній осі шийки рейки, за сумою яких обчислюються вертикальні сили. Тензорезистори 6-9 визначають бокові сили. Така схема вимірювання вертикальних сил мало залежить від горизонтальної сили та ексцентриситету вертикальної сили.

Для виявлення дефектів пропонується обладнати ділянку колії довжиною не менше однієї довжини кола колеса, у вимірювальній апаратурі збільшити частотний діапазон до 1 кГц і встановити швидкість руху при вимірюваннях не менше 25 км/год. При вертикальних силах 370–450 кН вагон може прямувати до найближчого пункту технічного обслуговування вагонів, де має бути визначено геометричні розміри дефекту. При силах понад 450 кН вагон підлягає негайному відчепленню для заміни колісної пари. Однак не регламентувалися ні методика вимірювання сил, ні вимоги до кількості датчиків, що встановлюються.

На (рис. 3.2) показана схема вимірювальної ділянки міжшпального проміжку рейки для виявлення дефектів коліс з 24 парами тензорезисторів для вимірювання вертикальних сил, встановленими через 136 мм на довжині 3264 мм, що перевищує довжину кола колеса. Навіть за такої частоти установки тензорезисторів ймовірність попадання дефектів за оборот колеса на датчик менше 20%.

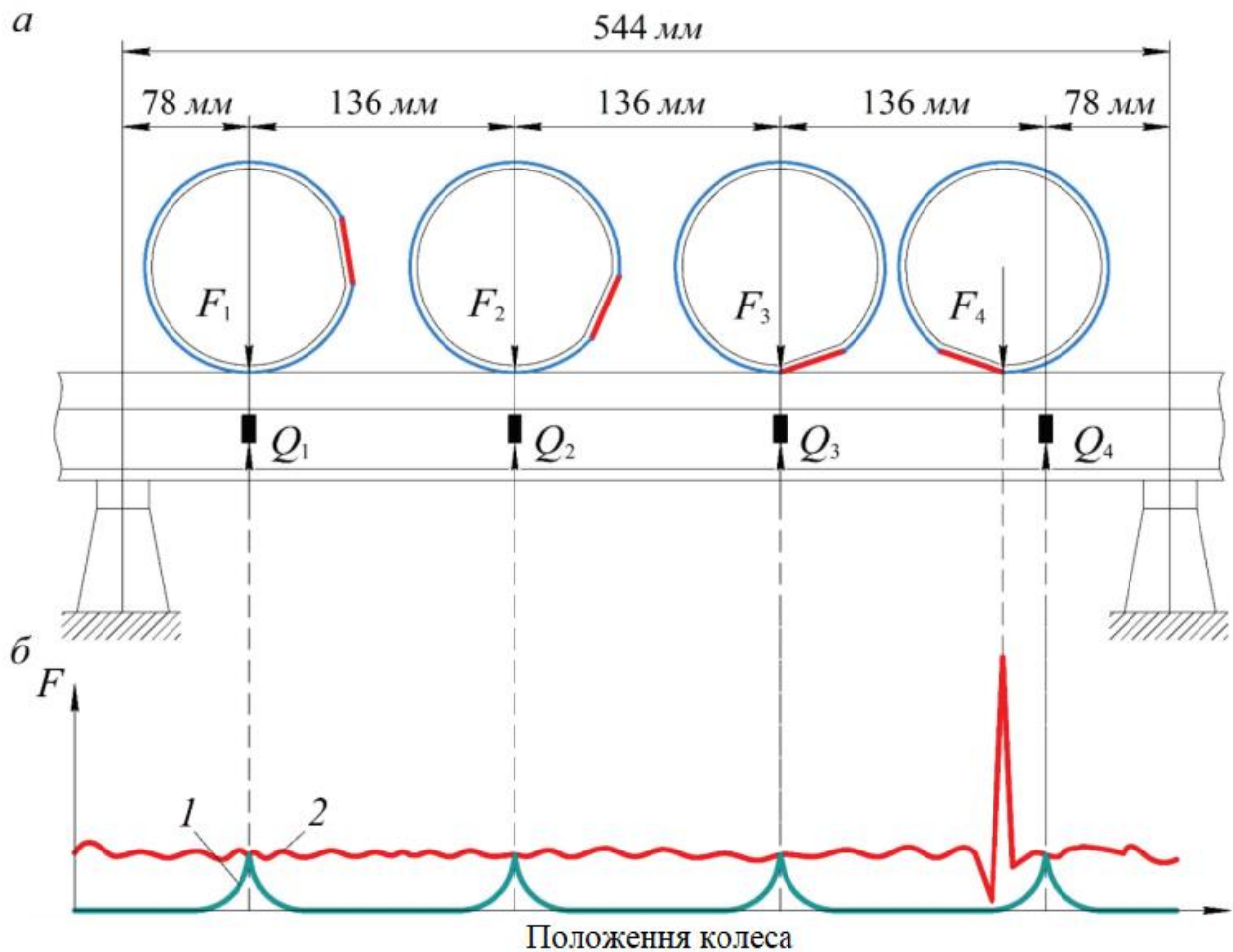


Рисунок 3.2 – Схема вимірювальної міжшпальної ділянки колії, заснована на вимірюванні нормальних напружень на шийці рейки: *a* – схема розташування датчиків; *б* – записи сил, що виникають; 1 – зусилля, реєстровані датчиками; 2 – вертикальна сила, що діє на рейку від колеса з повзуном;  $F_1$ - $F_4$  – вертикальні зусилля, що відновлюються;  $Q_1$ - $Q_4$  – поперечні зусилля на рейці

Практика застосування показала його недостатню точність.

### 3.3. Вимірювання по деформації отвору в рейці

У роботах [9-11] пропонується одночасно вимірювати вертикальні та бокові сили, прикладені колесами до рейок, за деформацією отвору в рейці. При цьому в [10] для вимірювання обох сил циліндричні датчики, змонтовані на двох кільцеподібних вкладишах, із застосуванням фіксуючих плоских шайб і болтового з'єднання монтуються в отвори, висвердлені в шийці рейки в зоні

горизонтальної нейтральної осі поперечного перерізу рейки, де кожна складова сили може визначатись окремо. Аналогічним чином [11] розроблений простий перетворювач, який дозволяє відокремити ефекти вертикальної сили від бокової, помістивши його в отворах, зроблених в шийці рейки поблизу центру поперечного кручення рейки.

При проходженні колісної пари вимірювальної зони рейки зазнають деформації, що пропорційно деформує чутливу втулку (рис. 3.3). Механічні зміни втулки перетворюються на електричний сигнал пропорційно вертикальній силі, що навантажується на рейку. Область вимірювання пропонованими датчиками може становити від 16 до 32 датчиків. Основними недоліками методів є порушення цілісності рейки та точкова оцінка сил.

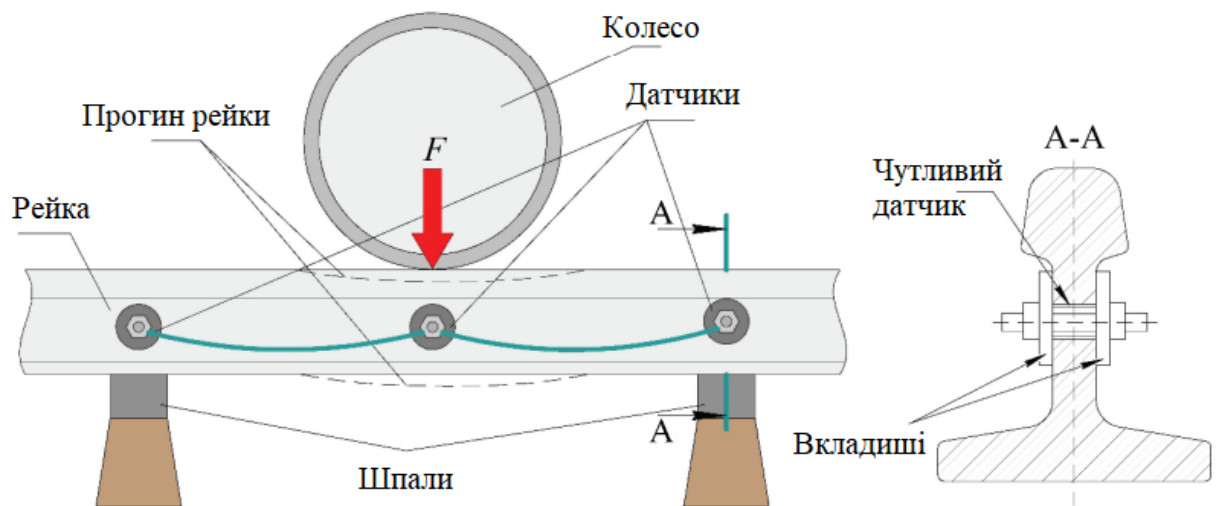


Рисунок 3.3 – Схема розташування датчиків з отвором у рейці

### 3.4. Вимірювання за дотичними напруженням на шийці рейки

Подальшим розвитком методів вимірювання сил, що діють у контакті колеса рухомого складу з рейкою, що суттєво збільшує об'єм реєстрованих експериментальних даних, є тензометрична схема «кусково-безперервної» реєстрації.

Дана схема вимірювання вертикальної сили, широко застосовується на залізницях закордонних країн і складається з двох комплексів тензорезисторів,

що встановлюються на нейтральній осі шийки рейки під кутом  $45^\circ$  симетрично відносно середини міжшпального проміжку, які формують повний міст Уїтстона, де сигнали із восьми тензорезисторів підсумовуються [12-13]. При такій схемі вимірюється різниця зрушень між двома перерізами, розташованими на деякій відстані один від одного в межах одного міжшпального проміжку, і тому на результатах не відбивається фактичне положення вертикального навантаження. При цьому повністю виключається дія бокової сили, що викликає зсув, вигин у горизонтальній площині та кручення рейки. Таким чином, виходить постійне вимірне значення для кількох десятків сантиметрів, забезпечуючи більш надійні вимірювання.

Така схема реєстрації сил, яка враховує специфіку вітчизняних залізничних колій, розроблена, теоретично обґрунтована та експериментально перевірена. Найкраща точність відновлення вертикальної сили на типовій конструкції верхньої будови залізничної колії, яка має суттєві відмінності від колій 1435 мм, за розробленим методом вимірювань дотичних напружень у двох перерізах рейки забезпечується при установці тензорезисторів на відстані 204 мм від центру міжшпального проміжку (відстань між вимірювальними перерізами 408 мм) з довжиною вимірювальної зони приблизно 220 мм (рис. 3.4), що дозволяє виміряти вертикальні сили, що діють від колеса на рейку, з відносною похибкою не більше 3% і, отже, виявити дефекти на поверхні кочення коліс із мінімальною глибиною.

Даний метод є класичним способом безперервної реєстрації вертикальних зусиль і широко застосовується в колійних умовах визначення дефектів на поверхні кочення колеса (рис. 3.5).

У США для перевірки стану коліс та попередження дефектів, що впливають на безпеку руху, застосовується система діагностики Wheel Impact Load Detector (WILD) [14], реалізована за вимірюванням дотичних напружень у двох перерізах рейки. Система діагностики WILD має вимірювальну ділянку загальною довжиною 16 м, яка встановлюється на залізничну колію над 25 шпалами.

Конструктивно ділянка складається з трьох областей реєстрації: центральної та двох бокових.

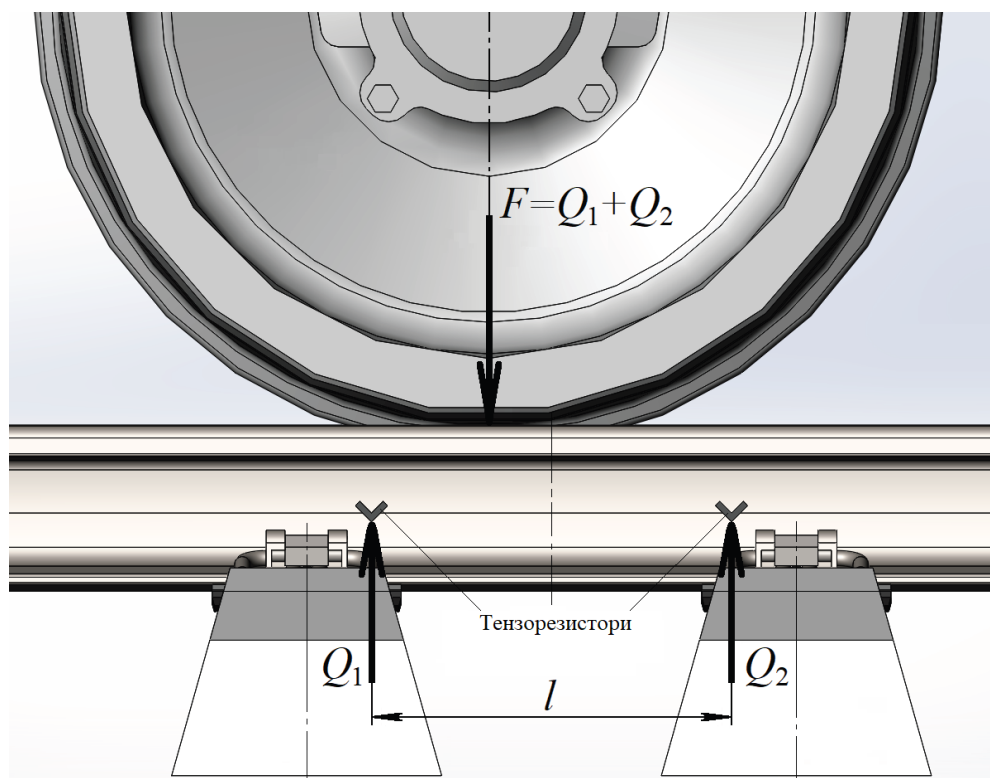


Рисунок 3.4 – Схема кусочно-безпервної реєстрації вертикальних сил з вимірювання дотичних напружень у двох перерізах рейки

Відстань між зонами обмежується трьома шпалами, де довжина центральної зони – сім шпал, а бокових зон – шість. При русі рухомого складу вимірювальною ділянкою колії зі швидкістю від 40 до 300 км/год тензорезистори, розміщені на шийці рейки, реєструють значення сил, що передаються від колеса на рейку. Сигнал з виходу мостової схеми скеровується в центральний процесор системи. Якщо сигнал перевищує заданий критичний рівень, то в центр управління рухом направляється попередження про це. Така система дозволяє виявляти довгі нерівності на колісних парах при високих швидкостях руху, які є причиною найбільшого динамічного збурення, що не піддається візуальному виявленню.

Всі вищезгадані методи вимірювання силового впливу колеса з рейкою засновані на використанні тензорезисторів, що встановлюються на рейці,

відрізняються розташуванням тензорезисторів та специфікою обробки сигналів, що отримуються.

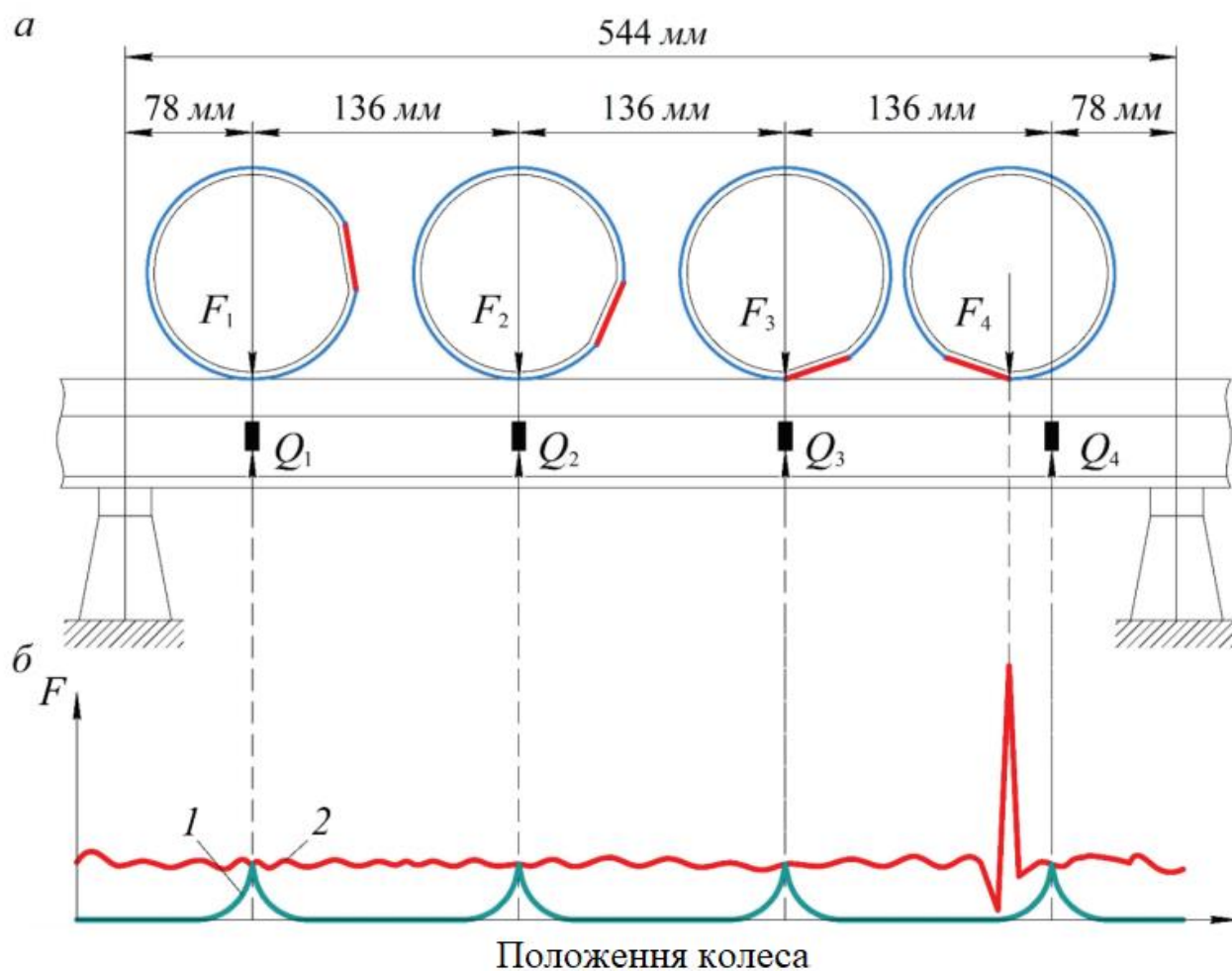


Рисунок 3.5 – Схема вимірювальної ділянки колії з реалізацією методу кусково-безпервної реєстрації вертикальних сил з вимірювання дотичних напружень у двох перерізах рейки

У світовій практиці експериментальних досліджень відомі інші різні методи вимірювання сил, що виникають у місці контакту колеса рухомого складу з рейкою.

### 3.5. Вимірювання по зусиллям на шпали

Іншим способом вимірювання сил, що передаються колесами на рейки, також є методи, де реєстрація здійснюється за допомогою силувимірювальних

елементів, встановлених на рейкових підкладках різних типів, адаптованих до конструкції рейкових скріплень на вимірювальних ділянках колії.

Метод вимірювання впливів на шпали є основою існуючих систем діагностики Sensorline і Multirail WheelScan. Відмінністю цих систем є застосування волоконно-оптичних датчиків, де вимірювальний елемент розташовується між підшоною рейки та шпалою.

При дії колеса на шпалу волоконно-оптичний датчик зазнає деформації, що обмежує доступ світла всередині датчика на певну кількість. При цьому кількість світла, що приймається, перетворюється в електричний сигнал, який переміщається через обробні пристрої з виведенням на монітор оператора. Використання оптоволоконної техніки дозволяє усунути електричні шуми, що виникають у традиційній вимірювальній апаратурі. Методи вимірювання зусиллям на шпали складні щодо обліку жорсткості баласту, рейкових підкладок, зокрема впливу сусідніх коліс і застосування способу загалом. Даний метод використовується в кількох виконаннях: вимірювання по зусиллям на шпали з довгою рейкою та короткою рейкою (ізолюваний блок).

#### **Вимірювання по зусиллям на шпали короткою рейкою (ізолюваний блок)**

Метод визначення навантажень на рейку за допомогою ізолюваного блоку пов'язаний із ізолюванням зони вимірювань за рахунок зазорів між рейками (рис. 3.6). На більшості доріг короткі рейки не допускаються, тому спосіб застосовують переважно в окремих ділянках колії при низьких швидкостях руху рухомого складу.

#### **Вимірювання по зусиллям на шпали довгою рейкою**

Для завчасного виявлення порушень цілісності поверхні кочення колісної пари в багатьох закордонних країнах реалізується діагностична система Sensorline [15], заснована на вимірюванні сил, які передаються колесами шпалам за допомогою вбудованих датчиків (рис. 3.7), розроблених на основі волоконно-оптичних технологій. За рахунок навантаження колісної пари на рейки

збільшуються сили реакції в системі «рейка-шпала», що викликають деформацію датчика.

Рівняння рівноваги зусиль способу має такий вигляд:

$$F_i = \sum_{i=0}^n k_i \cdot N_i \quad (1)$$

де  $k_i$  – ваговий коефіцієнт;

$N_i$  – зусилля на шпали.

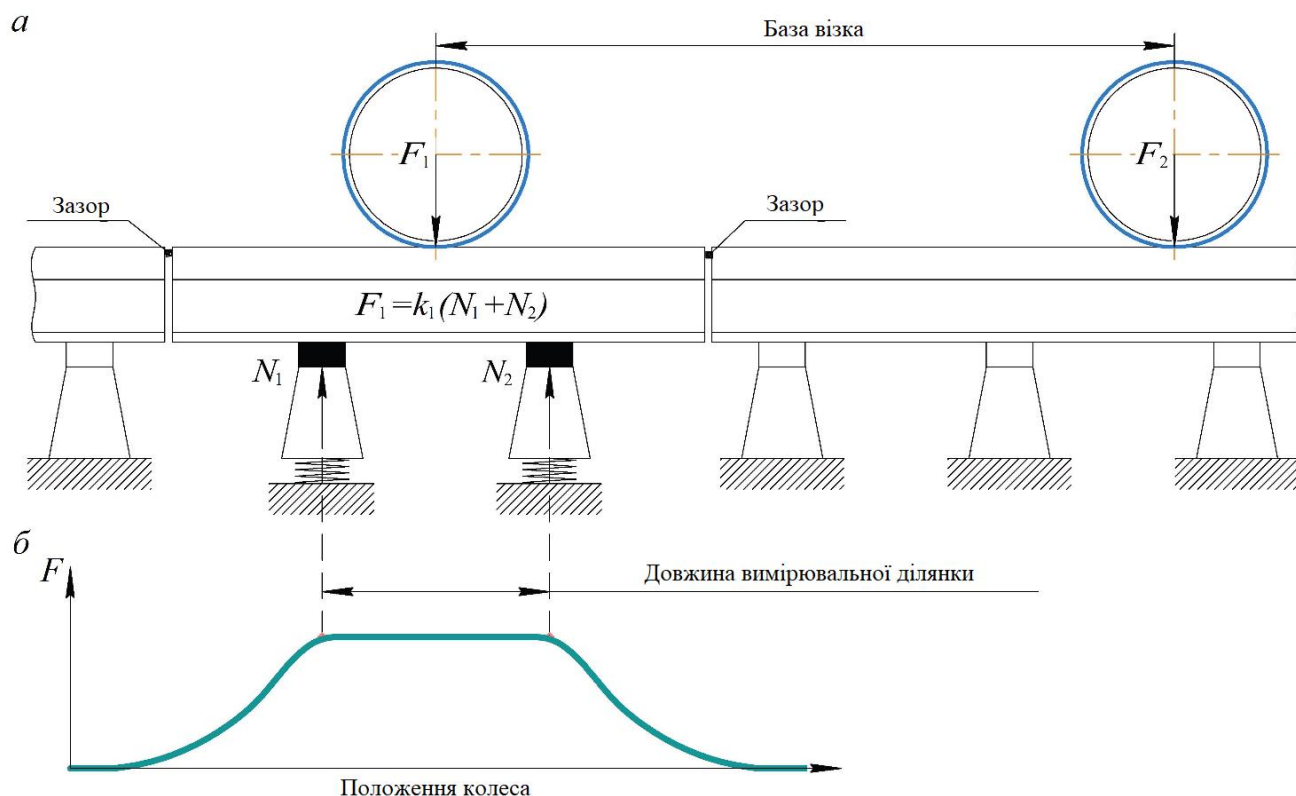


Рисунок 3.6 – Схема вимірювальної ділянки колії з вимірюванням навантаження на шпали короткою рейкою (ізолюваний блок):  $k_1$  – ваговий коефіцієнт;  $N_1$ - $N_2$  – зусилля на шпали

Довжина вимірювання діагностованої ділянки системи Sensorline змінюється від 4,2 до 7,8 м. Для найбільш точної обробки даних також у системі можлива зміна довжини ділянки вимірювання. Колісна пара в процесі руху здійснює два або більше обертів. Система працює на швидкостях руху від 35 до 350 км/год. Мінімальна похибка вимірювання 3% досягається за швидкості руху

до 60 км/год. На точність вимірів впливають вагові коефіцієнти  $k_i$ . Обґрунтоване їх визначення є складним через вплив сусідніх коліс та нерівномірність деформацій баласту.

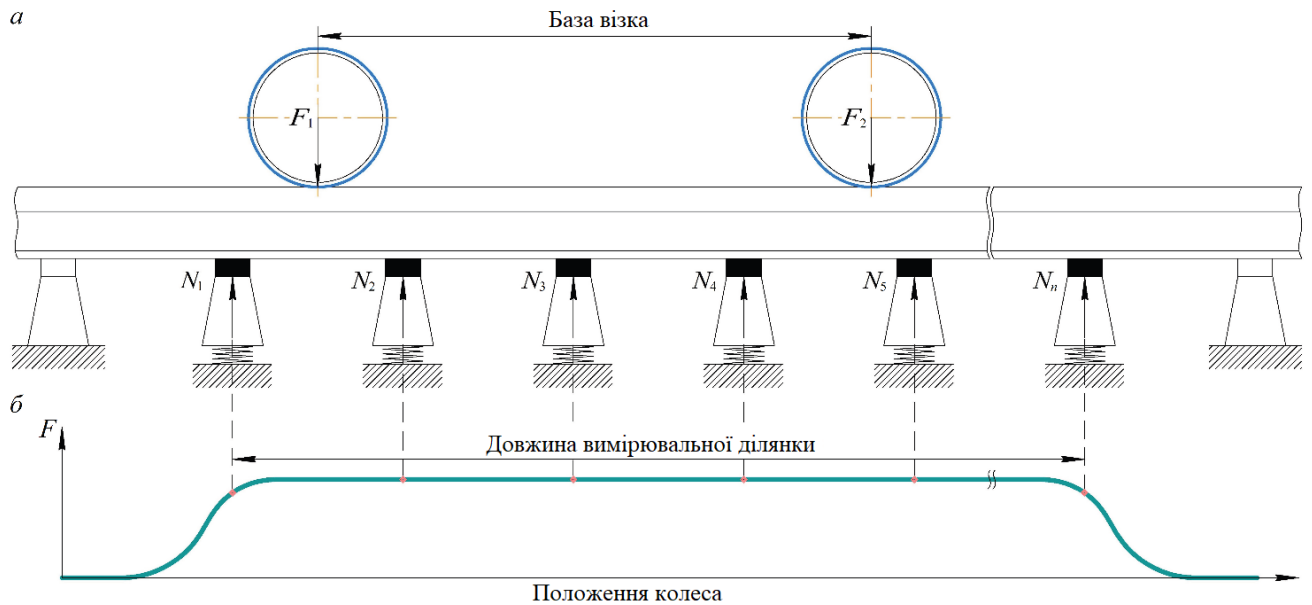


Рисунок 3.7 – Схема вимірювальної ділянки колії з вимірюванням зусиль на шпали

Отримані дані від датчика обробляються програмним кодом, визначаючи колеса з дефектом та вносячи їх у базу даних. Система має зв'язок із диспетчерським пунктом, який приймає сигнал про стан колісних пар у русі.

### 3.6. Вимірювання по прогину в рейці

На залізницях Голландії для моніторингу ходових частин та маси одиниці рухомого складу застосовується діагностичний комплекс Quo Vadis [16], де вимірювання здійснюються за допомогою волоконно-оптичних датчиків (рис. 3.8). Для отримання необхідної та достовірної інформації три датчики монтуються на рейки. Значення навантажень, що діють на рейки, розраховуються за прогинанням рейки з урахуванням поточного стану колії.

До недоліків цієї системи можна зарахувати низький діапазон швидкостей.

Аналогічна система з використанням волоконно-оптичних датчиків – система діагностики Lasca – застосовується у Німеччині [17].

Вимірювальна ділянка системи являє собою шість пар лазерних датчиків, що розташовуються паралельно до рейок між шпалами (рис. 3.9). У процесі переміщення колісної пари на вимірювальній ділянці лазер розташований на центральній осі рейки, передає промінь на чутливий елемент. При появі навантаження на вимірювальній ділянці промінь відхиляється на певний кут, пропорційний до вигину рейки. У разі дефекту чутливий елемент реєструє збільшення навантаження.

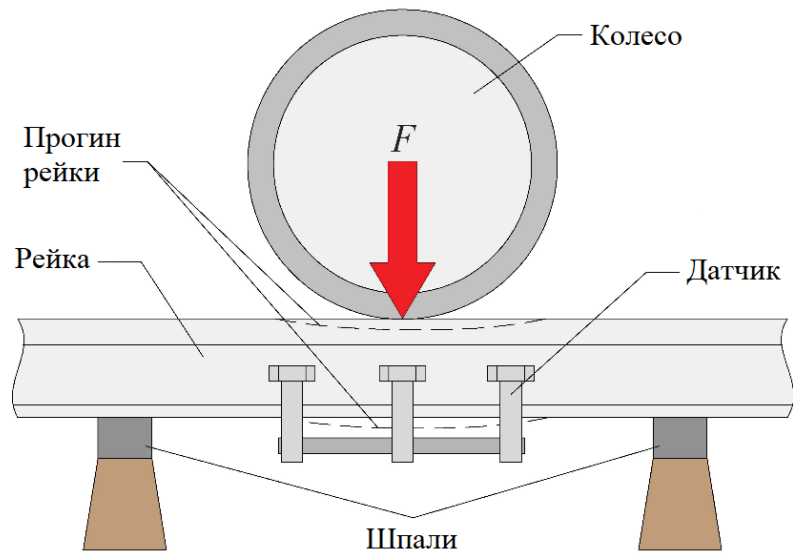


Рисунок 3.8 – Схема розташування датчика системи Quo Vadis

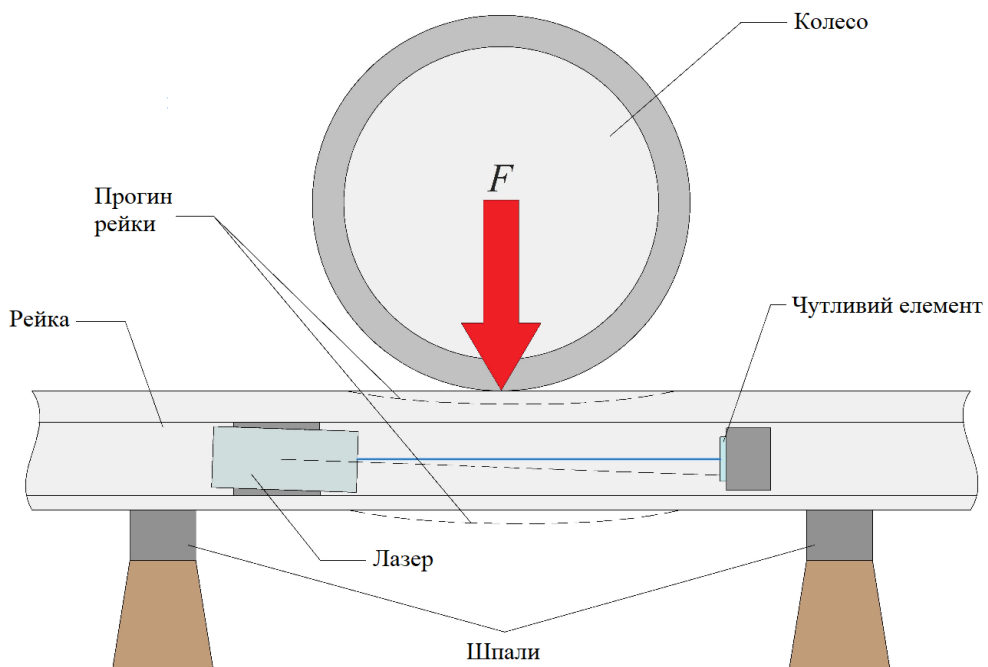


Рисунок 3.9 – Схема реєстрації вертикального навантаження діагностичної системи Lasca

У той час, коли колесо проходить поверхнею рейки, інформація, яка показує динамічні показники взаємодії колеса і рейки, є частиною сигналу в діапазоні часу. Довжина ділянки, що реєструється, становить 900 мм.

### **Вимірювання по прискореннях**

Суть методу полягає у вимірюванні прискорень елементів верхньої будови колії акселерометрами під час проходження колеса з дефектами.

### **3.7. Вимірювання за рівнем акустичної емісії**

Метод акустичної емісії застосовується для реєстрації дефектів, що розвиваються. Відмінність акустичної емісії від інших методів неруйнівного контролю полягає у джерелі сигналу, яким служить сам матеріал, а не зовнішнє середовище, тому прийнято вважати метод акустичної емісії пасивним. Також метод акустичної емісії реєструє дефекти, що розвиваються, які вже є потенційно небезпечними.

За описаним вище принципом розроблено діагностичний комплекс акустичного ультразвукового контролю екіпажної частини рухомого складу (рис. 3.10). Комплекс призначений для моніторингу та діагностики стану поверхні кочення колісних пар рухомого складу. При проходженні рухомого складу над вимірювальною ділянкою п'єзоелектричний датчик приймає сигнал і передає його через вимірювальні канали на пристрій реєстрації та обробки даних (блок-аналізатор), де результати виводяться на центральний комп'ютер оператора. Проблеми використання цього методу пов'язані з визначенням джерела сигналу.

### **3.8. Вимірювання по шуму**

Суть методу акустичного шуму щодо визначення зусиль у відповідальних вузлах вантажних вагонів полягає у зчитуванні статистичних показань у вигляді звукових значень. Реєстрація даних відбувається через чутливі мікрофони. За допомогою програмного забезпечення пункт вимірювального контролю

обробляє отримані сигнали на наявність збурень, що належать до періоду колісного проходження через вимірювальний ділянку.

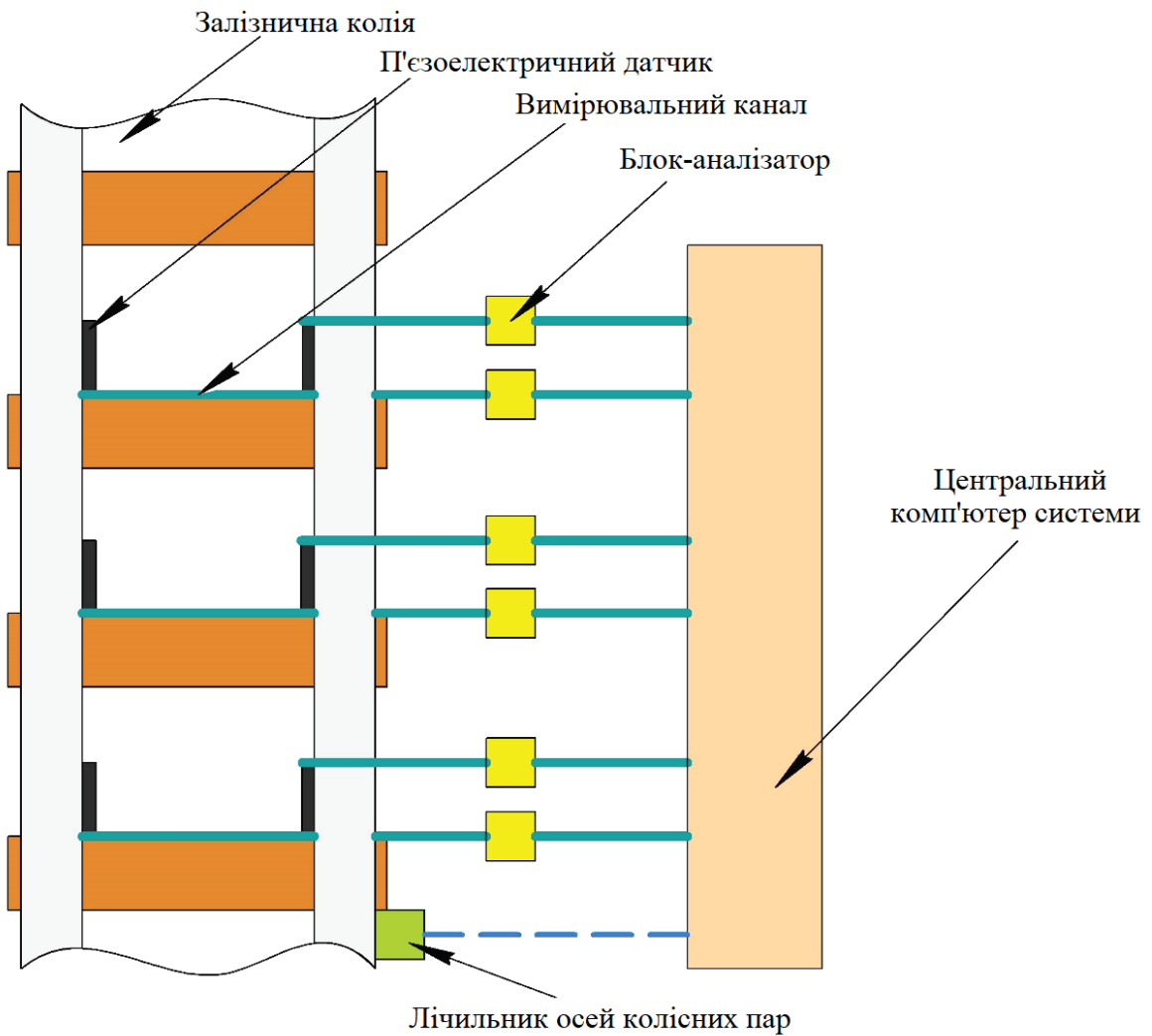


Рисунок 3.10 – Діагностичний комплекс акустичного ультразвукового контролю

У момент проходження колісної пари через пост акустичного контролю (ПАК) з'являються динамічні шуми, які реєструються системою вимірювання (рис. 3.11).

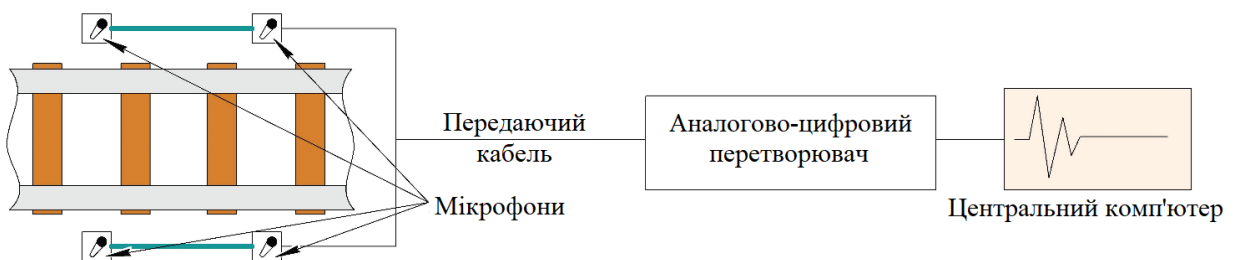


Рисунок 3.11 – Схема роботи методом акустичного шуму

Залежно від ступеня пошкодження поверхні кочення колісної пари амплітуда акустичних імпульсів може досягати 90 дБ та більше.

Труднощі застосування методу пов'язані з встановленням зв'язку між рівнем шуму та видом дефекту.

### 3.9. Сумісні методи вимірювання

Для точного вимірювання навантажень та розширення зони вимірювань у світовій практиці також застосовуються системи діагностики рухомого складу, у яких динамічні показники визначаються суміщеними методами виміру. Приклад такої схеми, де діагностична система представляє сукупність двох методів: вимірювання зусиль у рейці та вимірювання зусиллями на шпали, представлена на (рис. 3.12).

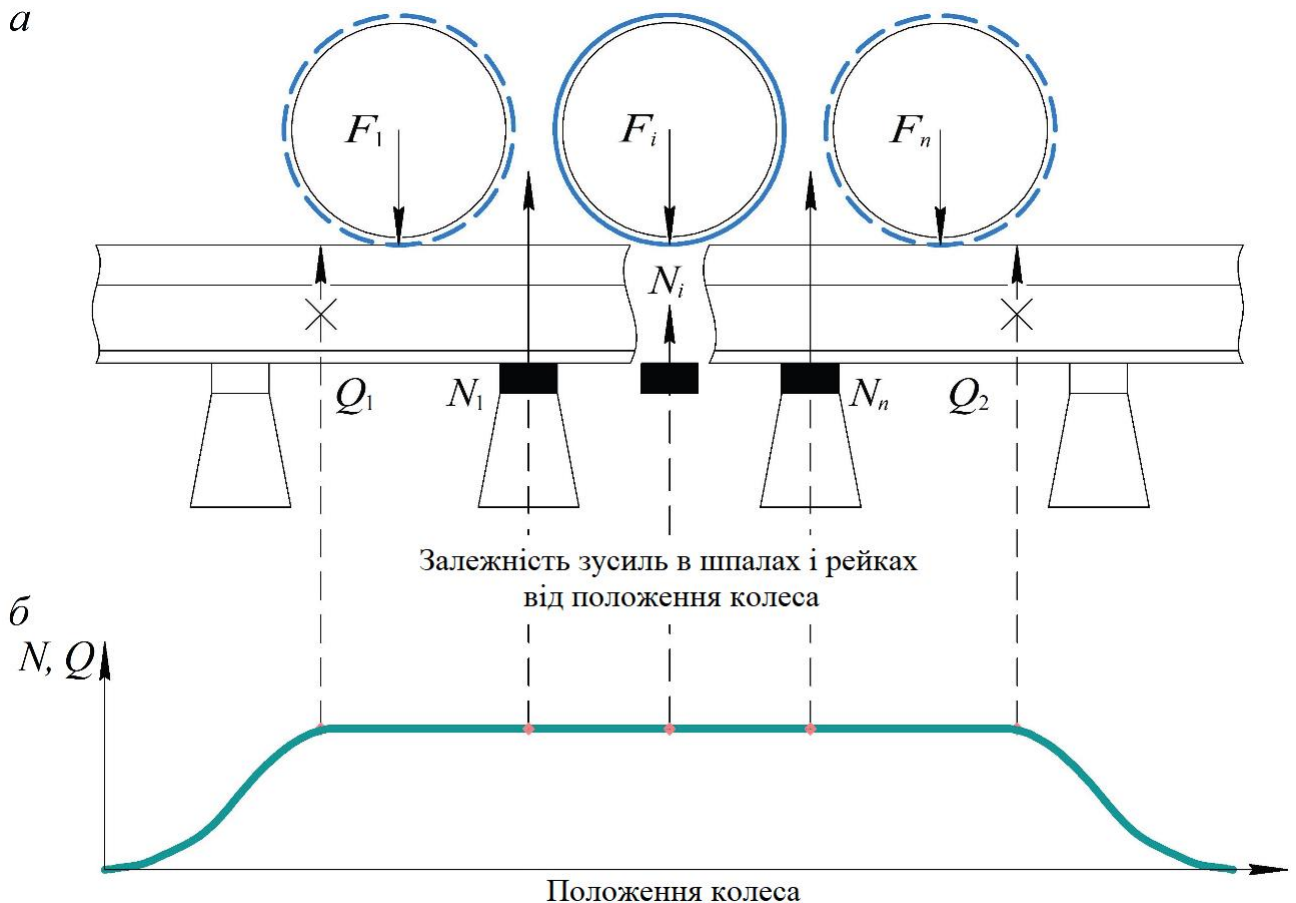


Рисунок 3.12 – Схема діагностичної системи із суміщеними методами вимірювання

Метод модернізований і застосовується для рейкової колії, яка призначена для високошвидкісного транспорту. При цьому рівняння рівноваги має такий вигляд:

$$F_i = Q_1 - Q_2 + \sum_{i=0}^n k_i \cdot N_i \quad (2)$$

де  $Q_1, Q_2$  – поперечні зусилля на рейці;

$k_i$  – ваговий коефіцієнт;

$N_i$  – зусилля на шпали.

Для автоматизації контролю рухомого складу під час руху поїзда на залізницях Німеччини використовується діагностична система Multirail WheelScan, заснована на вимірюванні сил реакції шпал тензодатчиками та вібродатчиками. Суть системи Multirail WheelScan – у застосуванні спеціалізованих ваговимірювальних шпал, які встановлюються замість стандартних на досліджуваній ділянці залізничної колії. Ця система дозволяє реєструвати навантаження, що діють у контакті «колесо-рейка» при русі рухомого складу. Спираючись на отримані дані, визначаються дефекти, небезпечні для рухомого складу та верхньої будови колії.

На основі даного методу в Австралії розроблено систему моніторингу Wheel Condition Monitor (WCM) [18]. WCM – це гібридний затискний комплекс, що застосовує акселерометри та тензодатчики, що забезпечує повне покриття поверхні кочення колісної пари. WCM включає накладні датчики, закріплені на подошві рейки, і колійні процесори для обробки даних. Ізольовані кабелі використовуються при необхідності для електрифікованих середовищ. Система є знімною, тому є можливість швидкого демонтажу. Комплекс застосовується для виявлення дефектів колісних пар і автоматичного контролю їх стану. Система забезпечує контроль швидкості руху поїзда від 25 до 130 км/год.

Загальні технічні характеристики системи (рис. 3.13):

– пропускна здатність: Довжина поїзда – необмежена;

- радіочастотні мітки: підходить для транспортних засобів із радіочастотними мітками;
- сигналізація: налаштовується користувачем, надсилається через SMS, електронну пошту або повідомлення до центрального управління поїздами;
- операційне середовище: магістраль/депо;
- рухомий склад – вантажний, інтермодальний та пасажирський;
- навколишнє середовище: апаратне забезпечення підходить для різних умов навколишнього середовища;
- база даних: інформація WCM, представлена базою даних FleetONE

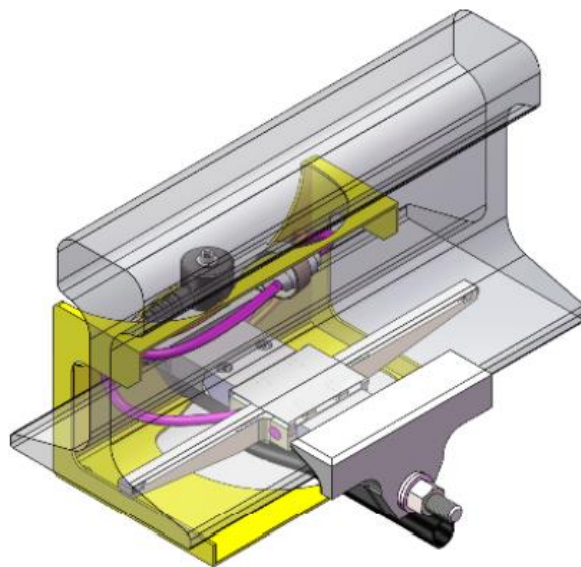


Рисунок 3.13 – Система моніторингу Wheel Condition Monitor

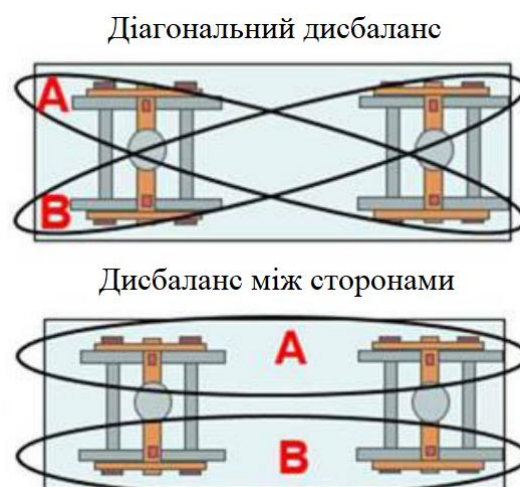


Рисунок 3.14 – Схеми перевірки технічного стану колісної пари

На мережі залізниць Німеччини для автоматизованого контролю стану коліс рухомого складу впроваджено систему Dafur, засновану на вимірюванні зусиль на рейці та на шпали з використанням тензодатчиків. Вимірювальна ділянка системи Dafur, що складається з трьох вимірювальних зон, дозволяє на відстані 4,2 м здійснювати безперервну реєстрацію вертикальних зусиль динамічних, що діють від коліс на рейки. Щоб визначити вид і форму дефекту колеса, що негативно впливають як на колесо, так і на верхню будову шляху, вимірюваний сигнал порівнюється з характеристиками інших сигналів, записаних для відомих геометрій колеса.

На мережі залізниць Німеччини для автоматизованого контролю стану коліс рухомого складу впроваджено систему Dafur, засновану на вимірюванні зусиль на рейці та на шпалах з використанням тензодатчиків. Вимірювальна ділянка системи Dafur, що складається з трьох вимірювальних зон, дозволяє на відстані 4,2 м здійснювати безперервну реєстрацію вертикальних динамічних зусиль, що діють від коліс на рейки. Щоб визначити вид і форму дефекту колеса, що негативно впливають як на колесо, так і на верхню будову колії, вимірюваний сигнал порівнюється з характеристиками інших сигналів, записаних для відомих геометрій колеса.

Аналогічна система для виявлення дефектів на поверхні кочення колеса – діагностична система ScalexWild – широко застосовується на залізницях Фінляндії. У процесі руху рухомого складу вимірювальною ділянкою динамічні зусилля від колеса на рейку сприймаються тензодатчиками, встановленими між шпалами і рейками, а також на шийці рейки. Кожне колесо, проходячи вимірювальною ділянкою системи ScalexWild, довжина якої становить 10 м, робить два повні оберти, що підвищує надійність і дозволяє контролювати сили впливу від колеса на рейку при швидкостях руху поїзда до 250 км/год. Похибка вимірювання динамічних навантажень від колеса на рейку при швидкості руху поїзда від 15 до 150 км/год становить 10 %.

### Висновки до розділу 3

В результаті проведеного дослідження було встановлено, що:

– методи вимірювання за нормальними напруженнями або деформаціями в реальному часі не здатні обстежити всю поверхню колеса і можуть пропускати короткі ударні впливи від дефектів, так як величина вимірювальної зони мала. Їхнє застосування в системах моніторингу технічного стану рухомого складу безперспективно;

– методи вимірювань за дотичними напруженнями у двох перерізах рейки або прогину рейок у міжшпальному проміжку дозволяють обстежити значну частину поверхні колеса. При збільшенні числа вимірювальних зон до довжини 3-4 обороти колеса можна досягти 100% виявлення дефектів і використовувати їх для моніторингу рухомого складу;

– методи вимірювань за навантаженнями на шпали дають можливість забезпечити безперервність реєстрації силових впливів від колеса на рейки із значно меншою довжиною вимірювальної зони. Однак точність визначення зусиль пов'язана з необхідністю обліку впливу сусідніх коліс та зміною стану підрейкової основи;

– методи оцінки стану коліс за прискореннями, рівнем шуму та акустичної емісії дозволяють визначати дефекти на поверхні кочення коліс з мінімальною кількістю ділянок. Питання точності цих вимірів, з погляду метрології, залишається відкритим через безліч факторів, що впливають. Для їх застосування в системах моніторингу необхідні розробки нових критеріїв встановлення зв'язків між дефектами коліс та вихідними сигналами та на цій основі бракування коліс.

## ВИСНОВКИ

- розглянуто типи та умови експлуатації колісних пар рухомого складу;
- проаналізовано технологію пресової та теплової посадки колеса на вісь колісної пари, наведено основні переваги та недоліки даних способів;
- відзначено, що на сьогоднішній час візуальний огляд на пункті технічного обслуговування є основним методом, при якому виявляються дефекти поверхні кочення коліс;
- розглянуто засоби та технологію контролю технічного стану колісних пар рухомого складу, а саме: універсальний шаблон, максимальний шаблон, мікрометр, товщиномір, абсолютний шаблон, спеціальний шаблон;
- проаналізовано вимоги відчизняних та закордонних нормативних документів щодо технічного утримання колісних пар;
- відзначено, що на даний час вимоги щодо механічних та геометричних параметрів колісних пар у всіх країнах приблизно однакові;
- встановлено, що методи вимірювання за нормальними напруженнями або деформаціями в реальному часі не здатні обстежити всю поверхню колеса і можуть пропускати короткі ударні впливи від дефектів, так як величина вимірювальної зони мала. Їхнє застосування в системах моніторингу технічного стану рухомого складу безперспективно;
- встановлено, що методи вимірювань за дотичними напруженнями у двох перерізах рейки або прогину рейок у міжшпальному проміжку дозволяють обстежити значну частину поверхні колеса. При збільшенні числа вимірювальних зон до довжини 3-4 обороти колеса можна досягти 100% виявлення дефектів і використовувати їх для моніторингу рухомого складу;
- встановлено, що методи оцінки стану коліс за прискореннями, рівнем шуму та акустичної емісії дозволяють визначати дефекти на поверхні кочення коліс з мінімальною кількістю ділянок. Питання точності цих вимірів, з погляду метрології, залишається відкритим через безліч факторів, що впливають. Для їх застосування в системах моніторингу необхідні розробки нових критеріїв встановлення зв'язків між дефектами коліс та вихідними сигналами та на цій основі бракування коліс.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. ДСТУ ГОСТ 4835-2006 «Колісні пари вагонів магістральних залізниць колії 1520 мм. Технічні умови (ГОСТ 4835-2006, IDT)».
2. 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. [Електрон. документ] Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/z0050-97>
3. EN 13715:2006/FPRA1 Railway applications - Wheelsets and bogies - Wheels - Wheel treads.
4. EN 13260:2020 Railway applications - Wheelsets and bogies - Wheelsets - Product requirements.
5. EN 13262:2020 Railway applications - Wheelsets and bogies - Wheels - Product requirements.
6. EN 13261:2020 Railway applications - Wheelsets and bogies - Axles - Product requirements.
7. Бромберг Е. М. Взаимодействие пути и подвижного состава / Е. М. Бромберг, М. Ф. Вериге, В. Н. Данилов, М. А. Фришман. – М.: Трансжелдориздат, 1956. – 280 с.
8. Ершков О. П. Исследование жесткости железнодорожного пути и ее влияние на работу рельсов в кривых участках / О. П. Ершков // Труды ЦНИИ МПС. – Вып. 264. – М.: Трансжелдориздат, 1963. – С. 39–98.
9. Bracciali A. New sensor for lateral and vertical wheel-rail forces measurements / A. Bracciali, P. Folga rait // Railway Engineering Conference. Railway Engineering. – 2004. – P. 1–7.
10. Delprete C. An easy instrument and a methodology for the monitoring and the diagnosis of a rail / C. Delprete, C. Rosso // Mechanical Systems and Signal Processing. – 2009. – Vol. 23. – Iss. 3. – P. 940–956.
11. LeDosquet G. Automatic monitoring of the running quality of railway vehicles / G. LeDosquet, F. Pawellek, F. Müller-Boruttau // Railway Technical

Review. – 2007. – Vol. 47. – N 2. – P. 1–6.

12. Bocciolini L. Wayside measurement of lateral and vertical wheel/rail forces for rolling stock homologation / L. Bocciolini, A. Bracciali, L. Di Benedetto, R. Mastandrea, F. Piccioli // Proceedings of the Second International Conference on Railway Technology : Research, Development and Maintenance / Ed. by J. Pombo. – Stirlingshire, Scotland : Civil-Comp Press, 2014. – P. 1–23.

13. Ahlbeck D. R. Techniques for measurement of wheel-rail forces / D. R. Ahlbeck, H. D. Harrison // The Shock and Vibration Digest. – 1980. – Vol. 12. – N 10. – P. 31–41.

14. Clegg E. Wheel impact load detector experience on CN / E. Clegg, W. G. Blevins // American Railway Engineering Association Bulletin. – October 1996. – P. 499–523.

15. Force Sensors Line Guide // Sensing and Control Honeywell. – 2013. – N 2. – P. 1–4.

16. Buurman G. Measurement system Quo Vadis / G. Buurman // European Railway Review. – 2005. – N 3. – P. 80–86.

17. Smausz T. LASCA system calibration for single exposure time measurements / T. Smausz, B. Hopp, Z. Bor // CLEO/Europe – EQEC 2009 – European Conference on Lasers and Electro-Optics and the European Quantum Electronics Conference. – Munich, 2009. – P. 1–1.

18. Wheel Condition Monitor. Track IQ a Wabtec company. – Kent Town, South Australia.