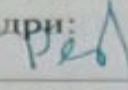


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Український державний університет науки і технологій

НАЦІОНАЛЬНА ШКОЛА МАЙСТЕРНОСТІ І ПРОФЕСІЙ  
СНАМ, ФРАНЦІЯ

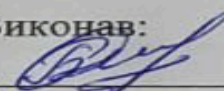
«ДО ЗАХИСТУ ДОПУЩЕНО»

Завідувач кафедри:   
к.т.н., доцент \_\_\_\_\_ Рейдемейстер О. Г.  
(вчене звання, ступінь) (підпис) (ПІБ)  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2022 р.

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА  
ДО ДИПЛОМНОЇ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ  
на отримання ОКР «Магістр»  
Спеціальність 273 «Залізничний транспорт»

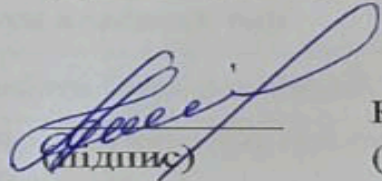
вітня програма «Інтероперабельність і безпека на залізничному транспорті»

Тема **ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ КОЛІСНИХ ПАР У  
ПРОЦЕСІ ЇХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ВІДПОВІДНО ДО ВИМОГ  
ІНТЕРОПЕРАБЕЛЬНОСТІ**

Виконав:   
(підпис)

Брінджак Б. І.  
(прізвище, ім'я, по-батькові)

Керівник:  
Phd  
(вчене звання, ступінь)

  
(підпис)

Кузишин А. Я.  
(прізвище, ім'я, по-батькові)

Львів-Дніпро  
2022

ЗАЯВА

Я, Бриндисая Володимир Георгійович  
(ПІБ повністю)

Студенті групи Р-Інтер  
(шифр групи)

Спеціальності 237 Залізничного трактористу  
(код та назва спеціальності)

освітньої програми Інтероперабельність і безпека на залізничному трактористі  
(назва освітньої програми)

освітнього ступеня підготовки магістр  
(бакалавр, магістр)

Заявляю, що моя випускна кваліфікаційна робота на тему:

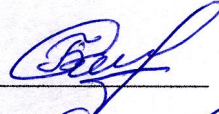
Дослідження технічного стану колісних пар у процесі їх експлуатації відповідно до вимог інтероперабельності

виконана самостійно і в ній не міститься елементів плагіату. Всі запозичення з друкованих та електронних джерел мають відповідні посилання.

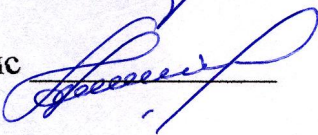
Прошу перевірити її на наявність академічного плагіату.

Я ознайомена з чинним «Порядком перевірки кваліфікаційних випускних робіт здобувачів вищої освіти на виявлення текстових та графічних запозичень засобами перевірки на плагіат», згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску випускної кваліфікаційної роботи до захисту.

Дата

Підпис 

Керівник

Підпис 

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Український державний університет науки і технологій

НАЦІОНАЛЬНА ШКОЛА МАЙСТЕРНОСТІ І ПРОФЕСІЙ  
СНАМ, ФРАНЦІЯ

«ДО ЗАХИСТУ ДОПУЩЕНО»

Завідувач кафедри:

к.т.н., доцент \_\_\_\_\_ Рейдемейстер О. Г.

(вчене звання, ступінь) (підпис) (ПБ)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2022 р.

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА  
ДО ДИПЛОМНОЇ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ

на отримання ОКР «Магістр»

Спеціальність 273 «Залізничний транспорт»

Освітня програма «Інтероперабельність і безпека на залізничному транспорті»

Тема **ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ КОЛІСНИХ ПАР У  
ПРОЦЕСІ ЇХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ВІДПОВІДНО ДО ВИМОГ  
ІНТЕРОПЕРАБЕЛЬНОСТІ**

Виконав:

\_\_\_\_\_

(підпис)

Брінджак Б. І.

(прізвище, ім'я, по-батькові)

Керівник:

Phd

(вчене звання, ступінь)

\_\_\_\_\_

(підпис)

Кузишин А. Я.

(прізвище, ім'я, по-батькові)

Львів-Дніпро

2022

|    |       |         |        |      |                          |      |
|----|-------|---------|--------|------|--------------------------|------|
|    |       |         |        |      | 0031.216524.ДМР.2022.001 | Арк. |
|    |       |         |        |      |                          | 1    |
| Зм | Аркуш | № докум | Підпис | Дата |                          |      |

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**Український державний університет науки і технологій**  
**Кафедра «Вагони та вагонне господарство»**

**НАЦІОНАЛЬНА ШКОЛА МАЙСТЕРНОСТІ І ПРОФЕСІЙ**  
**СНАМ, ФРАНЦІЯ**

«ДО ЗАХИСТУ ДОПУЩЕНО»

Завідувач кафедрою:

К.Т.Н., доцент \_\_\_\_\_ Рейдемейстер О.Г.  
(вч. звання, ступінь) (підпис) (ПІБ)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2022 р.

**ЗАВДАННЯ**  
**НА ДИПЛОМНУ МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ**

**Брінджак Б.І.**  
(ПІБ)

- 1. Тема роботи** Дослідження технічного стану колісних пар у процесі їх експлуатації відповідно до вимог інтеперабельності затверджено наказом по університету №499ст від «16» червня 2022р.
- 2. Термін подачі студентом закінченої роботи** «20» листопада 2022 р.
- 3. Вихідні дані для роботи** Нормативно правові акти та нормативні документи в сфері залізничного рухомого складу, Директиви ЄС щодо залізничного транспорту, нормативні документи щодо дослідження технічного стану колісних пар

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

| Назва розділу  | Об'єм, % | Рекомендована кількість слайдів |
|--|----------|---------------------------------|
| Конструкція та умови роботи колісних пар                                 | 30       | 3                               |
| Ресурс колісних пар та ефективність його реалізації                      | 30       | 2                               |
| Дослідження вітчизняних способів контролю параметрів колісних пар        | 20       | 4                               |
| Дослідження роботи сучасних систем контролю колісних пар під час їх руху | 20       | 3                               |

Студент  
Науковий керівник

Брінджак Б. І.  
Кузишин А. Я.

|    |       |         |        |      |                          |           |
|----|-------|---------|--------|------|--------------------------|-----------|
|    |       |         |        |      | 0031.216524.ДМР.2022.001 | Арк.<br>2 |
| Зм | Аркуш | № докум | Підпис | Дата |                          |           |

## СПИСОК СКОРОЧЕНЬ І СЛОВНИК ТЕХНІЧНИХ ТЕРМІНІВ

|      |   |
|------|---|
| МВРС | Моторвагонний рухомий склад                     |
| ПТЕ  | Правил технічної експлуатації залізниць України |
| США  | Сполучені Штати Америки                         |
| КП   | Колісна пара                                    |
| ТО   | Технічне обслуговування                         |
| РС   | Рухомий склад                                   |
| ТР   | Поточний ремонт                                 |
| ТРС  | Тяговий рухомий склад                           |
| EN   | Європейська норма                               |
| ФРН  | Федеративна Республіка Німеччина                |
| EMA  | Electromagnetic-acoustic                        |
| RFID | Radio Frequency IDentification                  |
| WCM  | Radio Frequency IDentification                  |
| WILD | Wheel Impact Load Detector                      |

|    |       |         |        |      |                          |      |
|----|-------|---------|--------|------|--------------------------|------|
|    |       |         |        |      | 0031.216524.ДМР.2022.001 | Арк. |
| Зм | Аркуш | № докум | Підпис | Дата |                          | 3    |

## ЗМІСТ

|   |    |
|---|----|
| <b>ВСТУП</b> .....  | 5  |
| <b>I. КОНСТРУКЦІЯ ТА УМОВИ РОБОТИ КОЛІСНИХ ПАР</b> .....                                      | 6  |
| 1.1 Огляд типів колісних пар, основні їх конструктивні розміри .....                          | 6  |
| 1.2 Огляд профлів поверхні кочення колісних пар.....  | 17 |
| 1.3 Хімічний склад та механічні властивості коліс .....                                       | 24 |
| 1.4 Осі колісних пар та їх механічні властивості .....  | 25 |
| Висновки до розділу 1 .....   | 26 |
| <b>II. РЕСУРС КОЛІСНИХ ПАР ТА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЙОГО РЕАЛІЗАЦІЇ</b> .....                          | 27 |
| 2.1 Особливості механізму зносу поверхні кочення коліс .....                                  | 27 |
| 2.2 Дефекти колісних пар.....   | 30 |
| 2.3 Види пошкоджень та дефектів осей колісних пар в експлуатації .....                        | 39 |
| 2.4 Конструктивні та технологічні способи забезпечення міцності осей<br>колісних пар.....     | 45 |
| 2.5 Способи зниження ймовірності пошкодження осей колісних пар в<br>експлуатації.....         | 51 |
| Висновки до розділу 2.....  | 52 |
| <b>III. ДОСЛІДЖЕННЯ ВІТЧИЗНЯНИХ СПОСОБІВ КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ<br/>КОЛІСНИХ ПАР</b> .....       | 53 |
| 3.1 Види та об'єм технічних оглядів та ремонту колісних пар .....                             | 53 |
| 3.2 Вимрювальний інструмент, дефектоскопія елементів колісних пар.....                        | 54 |
| Висновки до розділу 3.....  | 64 |
| <b>IV. ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ СУЧАСНИХ СИСТЕМ КОНТРОЛЮ КОЛІСНИХ<br/>ПАР ПІД ЧАС ЇХ РУХУ</b> ..... | 65 |
| 4.1 Дослідження роботи сучасних систем контролю колісних пар .....                            | 65 |
| 4.2 Дослідження осей колісних пар за методом компанії HNA .....                               | 80 |
| Висновки до розділу 4.....  | 85 |
| <b>ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ</b> .....   | 86 |
| <b>БІБЛІОГРАФІЯ</b> .....   | 88 |
| <b>СПИСОК РИСУНКІВ</b> .....  | 91 |
| <b>СПИСОК ТАБЛИЦЬ</b> .....   | 93 |
| <b>АНОТАЦІЯ І КЛЮЧОВІ СЛОВА</b> .....   | 94 |

|           |                   |          |        |      |   |     |       |         |
|-----------|-------------------|----------|--------|------|---|-----|-------|---------|
|           |                   |          |        |      | 0031.216524.ДМР.2022.001  |     |       |         |
| Вим       | Аркуш             | № докум. | Підпис | Дата |   |     |       |         |
| Розробив  | Брінджак Б.І.     |          |        |      | Дослідження технічного стану колісних пар у процесі їх експлуатації відповідно до вимог інтероперабельності | Літ | Аркуш | Аркушів |
| Перевірив | Кузишин А.Я.      |          |        |      |   | У   | 4     | 95      |
| Н. контр. |                   |          |        |      | гр. 8-Інтер   |     |       |         |
| Затвердив | Рейдемейстер О.Г. |          |        |      |   |     |       |         |

## ВСТУП

В даний час на залізничному транспорті все більше уваги приділяється розвитку нових технологій, що впроваджуються в інфраструктуру залізничного транспорту. Застосовуються інноваційні технології експлуатації та технічного обслуговування рухомого складу. Розглядаючи етапи модернізації рухомого складу та його вузлів можна побачити, що багато уваги приділяється вдосконаленню їхньої форми та інших якостей, спрямованих на підвищення надійності експлуатації сучасних поїздів, які поступово впроваджуються на залізничному транспорті.

Колісна пара основний елемент ходової частини рухомого складу, яка служить для сприйняття ваги кузова та візка та передачі на рейки. Крім того, колісні пари служать для перетворення обертального руху, що передається від тягових двигунів, у поступальний рух. Оскільки колісні пари є одним із відповідальних вузлів рухомого складу, вони потребують ретельного та професійного технічного обслуговування, огляду та ремонту. Сучасні тенденції збільшення міжремонтних пробігів рухомого складу потребують удосконалення технології дослідження технічного стану колісних пар у процесі їх експлуатації використовуючи сучасні системи контролю.

Враховуючи сучасний стан розвитку залізничного транспорту України та тісну співпрацю з країнами Європейського Союзу актуальним постає питання сумісного використання сучасних систем контролю технічного стану колісних пар у процесі їх експлуатації відповідно до вимог інтероперабельності.

*Об'єктом дослідження в даній роботі є колісні пари рухомого складу.*

*Предметом дослідження являється робота сучасних систем контролю технічного стану колісних пар у процесі їх експлуатації відповідно до вимог інтероперабельності.*

|    |       |         |        |      |                          |      |
|----|-------|---------|--------|------|--------------------------|------|
|    |       |         |        |      | 0031.216524.ДМР.2022.001 | Арк. |
| Зм | Аркуш | № докум | Підпис | Дата |                          | 5    |

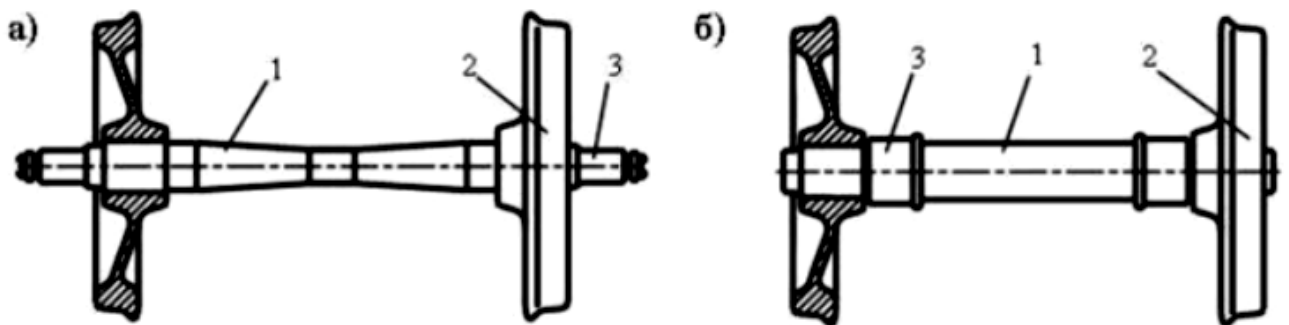
# РОЗДІЛ І. КОНСТРУКЦІЯ ТА УМОВИ РОБОТИ КОЛІСНИХ ПАР

## 1.1 Огляд типів колісних пар, основні їх конструктивні розміри

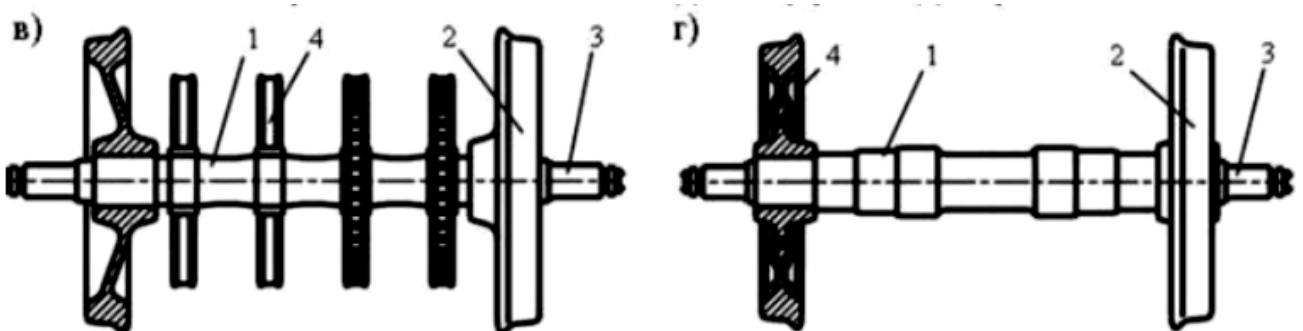
Колісною парою називають вузол у зборі [1-2], що складається з осі із встановленими на ній нерухомо ходовими колесами та іншими деталями, такими як зубчасті колеса тягового приводу, осьові підшипники тягового двигуна або редуктора, гальмівні диски, які не можуть бути демонтовані без розформування колісної пари. Як складальну одиницю розрізняють колісну пару без буксових вузлів (підшипників) та колісну пару з буксовими вузлами (підшипниками).

Колісна пара відноситься до ходових частин вагона, і за своїм функціональним призначенням є опорою, що передає навантаження на рейки і забезпечує необхідну відстань між екіпажем та колією; направляючим пристроєм, що задає рух уздовж осі рейкової колії, включаючи криві та стрілочні переводи; рушієм та елементом гальмівної системи, що забезпечує прискорення та уповільнення.

Основні варіанти виконання колісних пар показані на (рис. 1) [1].

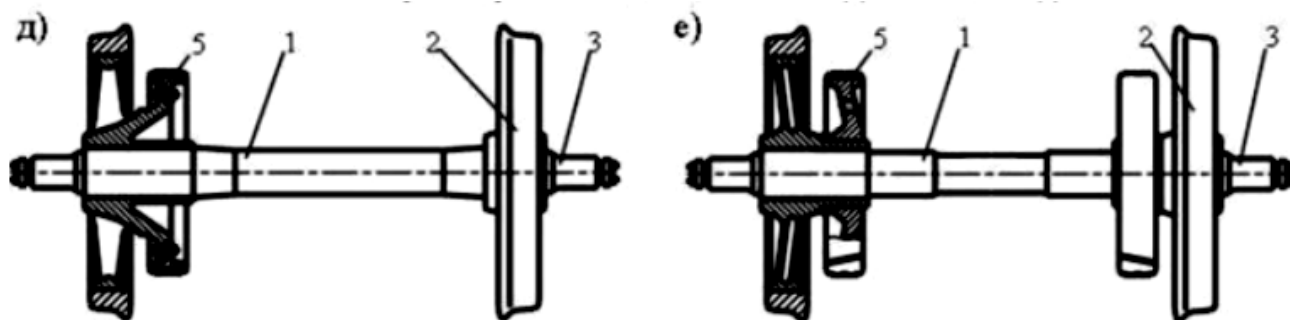


Колісні пари з шийками осі із зовнішнього (а) та з внутрішнього (б) боку від коліс



Колісні пари з гальмівними дисками на осі (в) та на колесі (г)

|    |       |         |        |      |                          |      |
|----|-------|---------|--------|------|--------------------------|------|
|    |       |         |        |      | 0031.216524.ДМР.2022.001 | Арк. |
| Зм | Аркуш | № докум | Підпис | Дата |                          | 6    |



### Колісні пари тягового рухомого складу

з асиметричним (д) та симетричним (е) положенням передачі

Рисунок 1 – Основні типи конструкції колісних пар:

1 – вісь, 2 – колесо, 3 – шийка осі, 4 – гальмівний диск, 5 – зубчасте колесо

Конструкція колісної пари залежить від типу рухомого складу (тяговий, нетяговий). Колісні пари тягового рухомого складу (рис. 1, д, е) обладнуються пристроями для передачі моменту, що крутить, наприклад, зубчастими колесами.

Колісні пари, які призначені для експлуатації з колодковим гальмом (рис. 1, а, б), не мають додаткових елементів, колодки гальмівної системи труться об поверхню кочення. Для взаємодії з кліщовими захватами дискових гальм на осі колісної пари (рис. 1, в) або колесі (рис. 1, г) встановлюються диски.

Підшипники можуть розташовуватися відносно коліс із внутрішньої або зовнішньої сторони. Традиційним є розташування підшипників із зовнішнього боку (рис. 1, а), де вони доступні для огляду та контролю температури. Розташування підшипників всередині (рис. 1, б) дозволяє зменшити розміри ходових частин, домогтися істотного виграшу по масі візків, однак, вимагає від підшипників особливої надійності та наявності діагностичних пристроїв, що замінюють їх візуальний контроль.

Кріплення колеса на осі може виконуватися жорстко або допускати його обертання. При застосуванні вільно обертових коліс зменшується циклічне навантаження на осі і маса необресорених частин може бути суттєво зменшена. Однак у цьому випадку виникають додаткові проблеми, пов'язані з центруванням колісної пари в рейковій колії. У зв'язку з цим така конструкція не

|    |       |         |        |      |  |                          |      |
|----|-------|---------|--------|------|--|--------------------------|------|
|    |       |         |        |      |  | 0031.216524.ДМР.2022.001 | Арк. |
| Зм | Аркуш | № докум | Підпис | Дата |  |                          | 7    |

знайшла широкого застосування і не розглядається.

На осях колісних пар є спеціальні місця, які називають шийками, які призначені для розміщення підшипників. На поверхні колеса є коло кочення, яке є умовним колом, що відповідає положенню геометричних точок контакту між колесами та рейками при їх номінальних розмірах.

У колісній парі є основні конструктивні розміри (рис. 2), які визначають її взаємодію з підшипниками, буксами, гальмівною системою та рейками:

- діаметр і довжина шийки осі, які визначають розміри підшипників, що встановлюються;
- відстань між центрами шийок осей ( $2b$ ), яка визначає прикладене навантаження від ваги вагона на підшипники;
- діаметри коліс ( $r_0$ ), що вимірюються по колу кочення;
- відстань між колами кочення ( $2l$ );
- відстань між внутрішніми гранями ободів коліс ( $2d$ ).

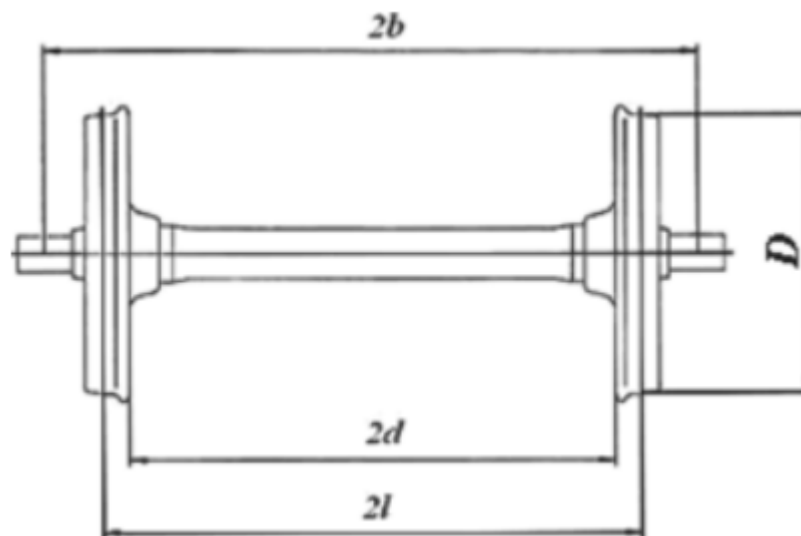


Рисунок 2 – Основні розміри залізничної колісної пари

Несуча здатність колісної пари визначається величиною максимального розрахункового статичного навантаження від колісної пари на рейки ( $P_0$ ), а динамічна навантаженість - величиною конструкційної швидкості.

Типи, основні розміри та технічні умови на виготовлення колісних пар для експлуатації на залізницях колії 1520 мм для немоторного рухомого складу визначаються ДСТУ ГОСТ 4835:2008 «Колісні пари вагонів магістральних залізниць колії 1520 мм. Технічні умови» [3], а для тягового рухомого складу – ДСТУ ГОСТ 11018:2005 «Тяговий рухомий склад залізниць колії 1520 мм. Колісні пари. Загальні технічні умови» (ГОСТ 11018-2000, ІДТ) [4].

ДСТУ ГОСТ 4835:2008 встановлено п'ять типів колісних пар з осями типів РУ1Ш та РВ2Ш, колесами діаметром по колу кочення 957 мм залежно від типу вагона та максимального розрахункового статичного навантаження від колісної пари на рейки (табл. 1). Крім колісних пар, перерахованих у (табл. 1) в експлуатації під вантажними та пасажирськими вагонами є колісні пари з осями РУ1. Вимоги до основних розмірів колісних пар наведено у (табл. 2).

Таблиця 1 – Типи колісних пар немоторного рухомого складу за ДСТУ ГОСТ 4835:2008.

| Тип колісної пари | Тип вагону               | Максимальне розрахункове статичне навантаження від колісної пари на рейки, кН (тс) |
|-------------------|--------------------------|--|
| РУ1Ш-957-В        | вантажний                | 230,5 (23,5)   |
| РУ1Ш-957-П        | пасажирський             | 176,6 (18,0)   |
| РУ1Ш-957-Е        | немоторний електропоїзда | 186,4 (19,0)   |
| РУ1Ш-957-Д        | немоторний дизель-поїзда |  |
| РВ2Ш-957-В        | вантажний                | 245,2 (25,0)   |
| РМ3<br>РМ5        | моторний електропоїзда   | 196,0 (20,0)<br>216,0 (22,0)   |

Колісні пари для швидкостей руху від 140 до 160 км/год зазнають динамічного балансування. Дисбаланс, що допускається в площині кожного колеса відносно осі, що проходить через центри кіл кочення коліс, повинен бути

не більше 0,6 кг · см .

Таблиця 2 – Основні розміри колісних нар немоторного рухомого складу відповідно ДСТУ ГОСТ 4835:2008

| Основні розміри   | Значення, мм  |
|---|---------------|
| Відстань між внутрішніми боковими поверхнями ободу коліс  | 1440          |
| Різниця відстаней між внутрішніми боковими поверхнями ободів коліс  | не більше 1,5 |
| Різниця діаметрів коліс по колу кочення в одній колісній парі   | не більше 1,0 |
| Різниця відстаней від торців передпідступичних частин осі до внутрішніх бокових поверхонь ободу коліс з одного та іншого боку колісної пари | не більше 3,0 |
| Відхилення від співвісності кіл кочення коліс відносно осі базової поверхні   | не більше 1,0 |

На кожній колісній парі в холодному стані на торці шийки осі повинні бути вибиті знаки маркування: умовний номер підприємства, яке сформувало колісну пару, знак формування, дату формування, знак балансування, знак монтажу буксових вузлів.

ДСТУ ГОСТ 11018:2005 встановлює вимоги до колісних пар тягового рухомого складу для швидкостей руху до 200 км/год. Вимоги до основних розмірів колісних пар наведено у (табл. 3).

Колісні пари з нерухомо закріпленими зубчастими колесами для швидкостей руху від 100 до 120 км/год для локомотивів, до 130 км/год для МВРС піддаються статичному балансуванню. Допустимий дисбаланс не повинен перевищувати 25 кг · см .

Колісні пари з нерухомо закріпленими зубчастими колесами для швидкостей руху понад 120 км/год. Динамічний дисбаланс, що допускається, в площині кожного колеса не повинен перевищувати 12,5 кг · см для конструкційної

|    |       |         |        |      |                          |      |
|----|-------|---------|--------|------|--------------------------|------|
|    |       |         |        |      | 0031.216524.ДМР.2022.001 | Арк. |
| Зм | Аркуш | № докум | Підпис | Дата |                          | 10   |

швидкості до 160 км/год і 7,5 кг·см - понад 160 км/год до 200 км/год.

Таблиця 3 – Основні розміри колісних пар тягового рухомого складу відповідно ДСТУ ГОСТ 11018:2005

| Основні розміри   | Значення, мм   |
|---|--|
| Відстань між внутрішніми боковими поверхнями ободів коліс:<br>– для конструкційної швидкості до 120 км/год<br>– для конструкційної швидкості понад 120 км/год   | 1440 <sup>+1</sup> <sub>-3</sub><br>1440 <sup>+1</sup> <sub>-1</sub> |
| Ширина обода колеса:<br>– для локомотивів<br>– для МВРС   | 140 <sup>+3</sup> <sub>-2</sub><br>130 <sup>+3</sup> <sub>-1</sub>   |
| Різниця по ширині обода колеса  | не більше 3,0  |
| Діаметр коліс по колу кочення:<br>– для локомотивів<br>– для МВРС   | 780...1850<br>957  |
| Допуск торцевого биття внутрішніх торців обідів коліс відносно центрів осі<br>– для конструкційної швидкості до 120 км/год.<br>– для конструкційної швидкості понад 120 км/год до 160 км/год<br>– для конструкційної швидкості понад 160 км/год до 200 км/год | не більше 1,0<br>не більше 0,8<br>не більше 0,5                      |
| Допуск радіального биття кола кочення коліс відносно центру осі<br>– для конструкційної швидкості до 70 км/год.<br>– для конструкційної швидкості понад 70 км/год до 120 км/год.<br>– для конструкційної швидкості понад 120 км/год до 200 км/год             | не більше 1,0<br>не більше 0,5<br>не більше 0,3                      |

Колеса та осі рухомого складу є найбільш відповідальними деталями рухомого складу. Зменшення їхньої міцності або базових розмірів може

|    |       |         |        |      |                          |      |
|----|-------|---------|--------|------|--------------------------|------|
|    |       |         |        |      | 0031.216524.ДМР.2022.001 | Арк. |
| Зм | Аркуш | № докум | Підпис | Дата |                          | 11   |

призвести до сходу рухомого складу з рейок.

Основні варіанти виконання коліс показані (рис. 3) [1]. Колеса класифікують за конструкцією: суцільні (рис. 3, а), бандажні (рис. 3, б) та збірні (рис. 3, в). Найбільшого поширення набули цілокатані або литі суцільні колеса та бандажні.

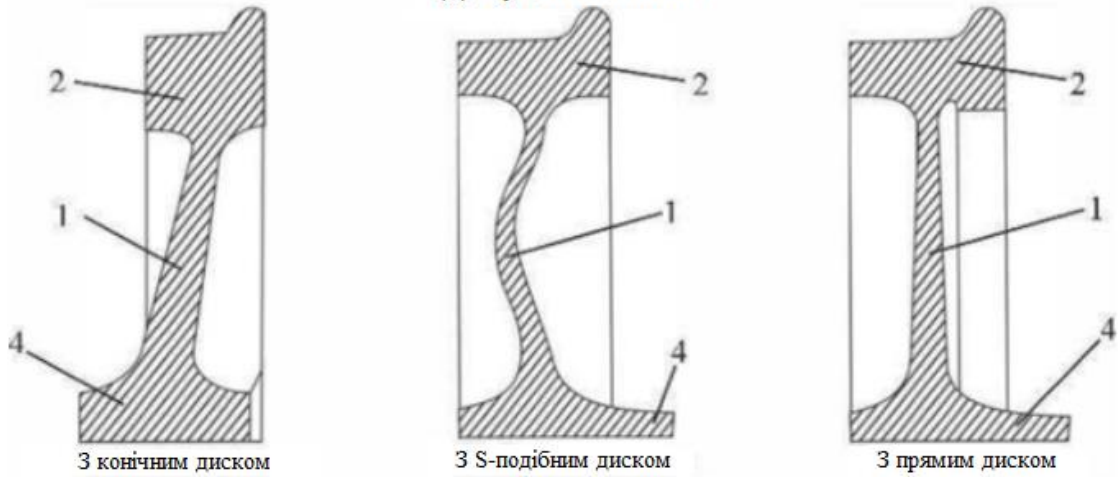
Суцільні колеса мають три основні частини: обід, диск та маточину і, в основному, відрізняються формою диска. Розрізняють колеса з прямим диском, з конічним диском, S-подібним диском, зі спицевим диском. Прямий диск має найменшу вагу, його форма вибирається за принципом рівності діючих напружень у всіх перерізах. Конічну та S-подібну форму диска застосовують для збільшення гнучкості і, тим самим, зменшення сил взаємодії коліс та рейок, покращення відведення тепла при нагріванні обода гальмівними колодками. Хвилястий диск забезпечує підвищений опір боковим згинальним навантаженням, за рахунок високої жорсткості знижує шум, що виникає під час кочення.

У бандажних коліс обід виконаний роз'ємним. Частина колеса, що найбільш зношується, - поверхня кочення, виділена в окремий елемент - бандаж, який може бути замінений при ремонті при збереженні диска і маточини коліс для подальшого використання. Недоліком таких коліс є знижена порівняно з суцільними надійність, можливість ослаблення бандажу, збільшення трудомісткості формування колісної пари за рахунок розточування та насадки бандажів.

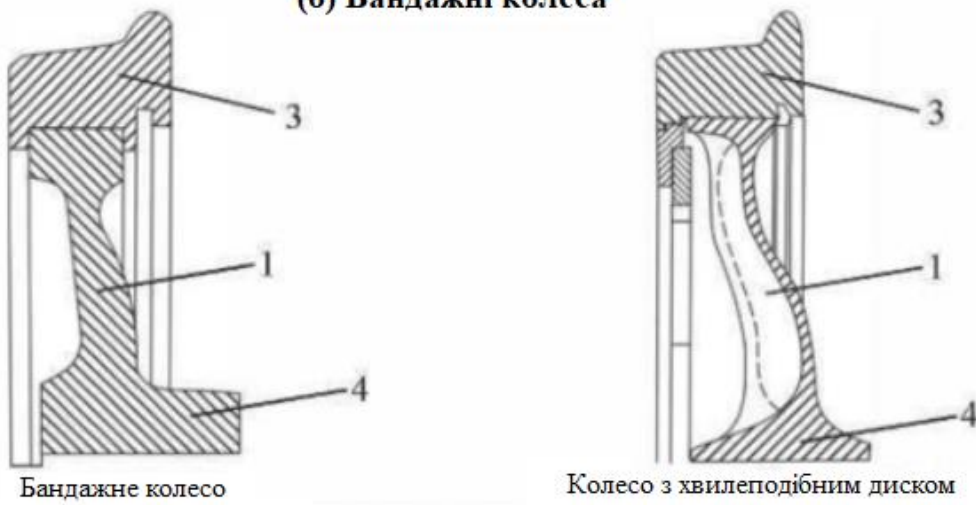
Прагнення знизити сили взаємодії за рахунок зменшення ваги необрессорених частин призвело до створення збірних пружних коліс, у яких між ободом і диском перебуває шар матеріалу з низьким модулем пружності (гума, поліуретан, тощо). Пружний шар забезпечує поглинання високочастотних вібрацій, що виникають у контакті колеса та рейки при коченні, однак дещо знижує міцність конструкції в цілому, а також її придатність для діагностування.

|    |       |         |        |      |                          |      |
|----|-------|---------|--------|------|--------------------------|------|
|    |       |         |        |      | 0031.216524.ДМР.2022.001 | Арк. |
| Зм | Аркуш | № докум | Підпис | Дата |                          | 12   |

**(а) Суцільні колеса**



**(б) Бандажні колеса**



**(в) Збірні колеса**

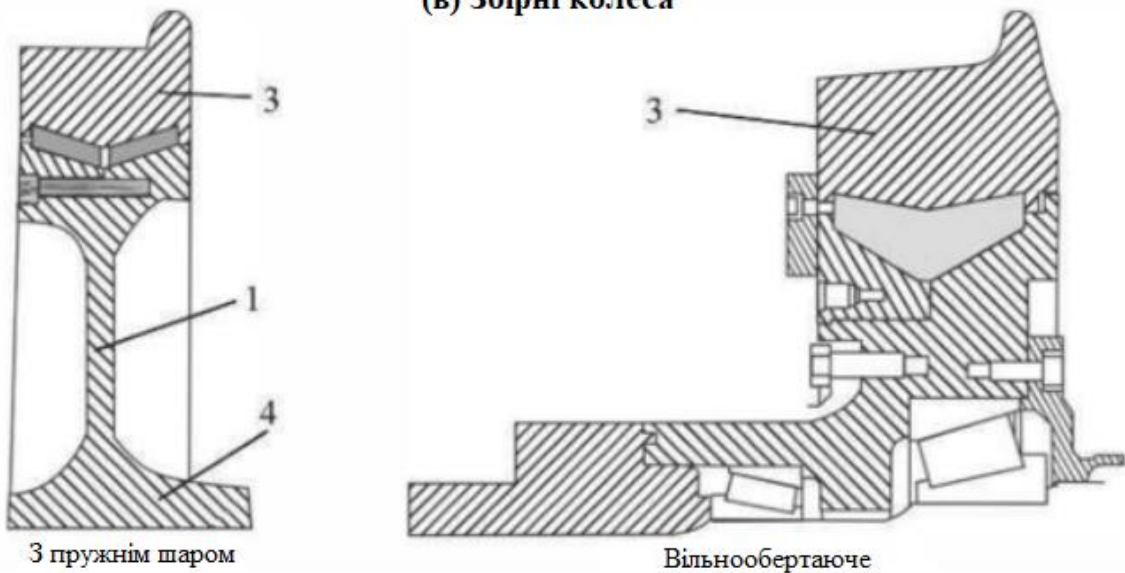


Рисунок 3 – Основні типи конструкції коліс:

1 – диск, 2 – обід, 3 – бандаж, 4 – маточина

|    |       |         |        |      |
|----|-------|---------|--------|------|
|    |       |         |        |      |
| Зм | Аркуш | № докум | Підпис | Дата |

0031.216524.ДМР.2022.001

Арк.

13

У зв'язку з підвищенням надійності підшипників в останні роки знову відродився інтерес до колес, що вільно обертаються, що встановлюються в візку без з'єднання віслю колісної пари або на осі. Коли колеса не пов'язані між собою віслю, це неминуче призводить до зникнення направляючих сил при русі рейковою колією, тому до таких конструкцій термін колісна пара не застосовується і далі вони не розглядаються.

Основними геометричними розмірами колеса (рис. 4) є ширина обода ( $a$ ), відстань від внутрішньої базової грані до кола кочення ( $b$ ), діаметр ( $D$ ) і товщина обода ( $t$ ), які вимірюються в місці розташування кола кочення, діаметр маточини ( $d$ ), висота ( $h$ ) гребеня та ширина ( $g$ ) гребеня, що вимірюється на відстані  $q$  від вершини.

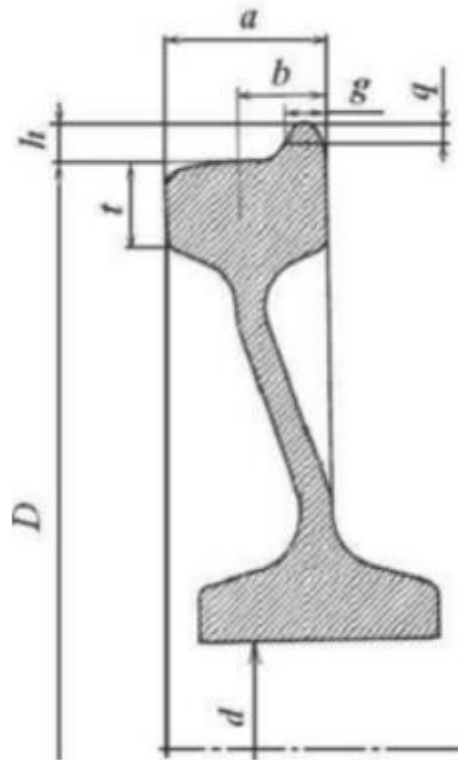


Рисунок 4 – Основні геометричні розміри колеса

Товщина обода колеса визначає запас на його зношування та переточування. Залежно від економічної ситуації у світовій практиці застосовують як колеса зі значним запасом на переточування (порядку 60 мм за

товщиною обода), так і практично без запасу. Другий випадок частіше відноситься до більш дешевих литих коліс, при тонкому ободі вони мають меншу масу і вартість, і після утворення зносу замінюються новими.

На магістральних залізницях колії 1520 мм під пасажирськими та вантажними вагонами, колійними машинами та немоторними вагонами електро- та дизель-поїздів застосовуються сталеві цілокатані колеса, які, незважаючи на більш складну технологію виробництва, повністю витіснили інші конструкції за рахунок підвищеної зносостійкості та міцності. Основні розміри цілюкатаних коліс (табл. 4) для експлуатації на залізницях колії 1520 мм визначено ГОСТ 9036-88 «Колеса цілюкатані. Конструкція та розміри» [5], а технічні умови – ДСТУ ГОСТ 10791-2006 «Колеса суцільнокатані. Технічні умови» [6].

Таблиця 4 – Основні розміри суцільнокатанних коліс

| Основні розміри  | Значення, мм |
|--|--------------|
| Діаметр ( $D$ )  | 957±7        |
| Відстань від внутрішньої базової грані до кола кочення ( $b$ ) | 70           |
| Ширина обода ( $a$ )   | 130+3        |
| Товщина обода ( $t$ )  | 147          |
| Діаметр маточини ( $d$ )                                       | 263±3        |
| Ширина гребеня ( $g$ )   | 33           |
| Висота гребеня ( $h$ )   | 28           |
| Відстань від вершини гребеня для виміру його ширини ( $q$ )    | 18           |

На локомотивах та моторних вагонах електро- та дизель-поїздів застосовуються бандажні колеса за ДСТУ ГОСТ 11018:2005 «Тяговий рухомий склад залізниць колії 1520 мм. Колісні пари. Загальні технічні умови» [4], у яких колісний литий центр виконується за ГОСТ 4491-86 «Центри колісні литі для рухомого складу залізниць колії 1520 мм. Загальні технічні умови» [7], бандаж – за ГОСТ 398-96 «Бандажі з вуглецевої сталі для рухомого складу залізниць

широкої колії та метрополітену. Технічні умови» [8]. Основні розміри коліс тягового рухомого складу наведено у (табл. 5).

Таблиця 5 – Основні розміри складових коліс тягового рухомого складу

| Основні розміри  | Значення, мм    |
|--|-----------------|
| Діаметр коліс по колу кочення ( $D$ )                          |                 |
| – для локомотивів  | 780...1850      |
| – для МВРС   | 957             |
| – для бандажних коліс МВРС                                     | 850...1050      |
| Допуск на діаметр коліс по колу кочення:                       |                 |
| – для локомотивів  | +6              |
| – для бандажних коліс МВРС                                     | +6              |
| Відстань від внутрішньої базової грані до кола кочення ( $b$ ) | 70              |
| Ширина обода ( $a$ ):  |                 |
| – для локомотивів (ДСТУ ГОСТ 11018:2005)                       | $140^{+3}_{-2}$ |
| – для МВРС (ДСТУ ГОСТ 11018:2005)                              | $130^{+3}_{-1}$ |
| Товщина бандажу ( $t$ )  |                 |
| – для локомотивів  | 75...90         |
| – для МВРС   | 150             |
| Ширина гребеня ( $g$ )   |                 |
| – для локомотивів  | 33-0,5          |
| – для МВРС   | 33-0,5          |
| Висота гребеня ( $h$ )   |                 |
| – для локомотивів  | 30              |
| – для МВРС   | 28              |
| Відстань від вершини гребеня для виміру його ширини ( $q$ ):   |                 |
| – для локомотивів  | 20              |
| – для МВРС   | 18              |

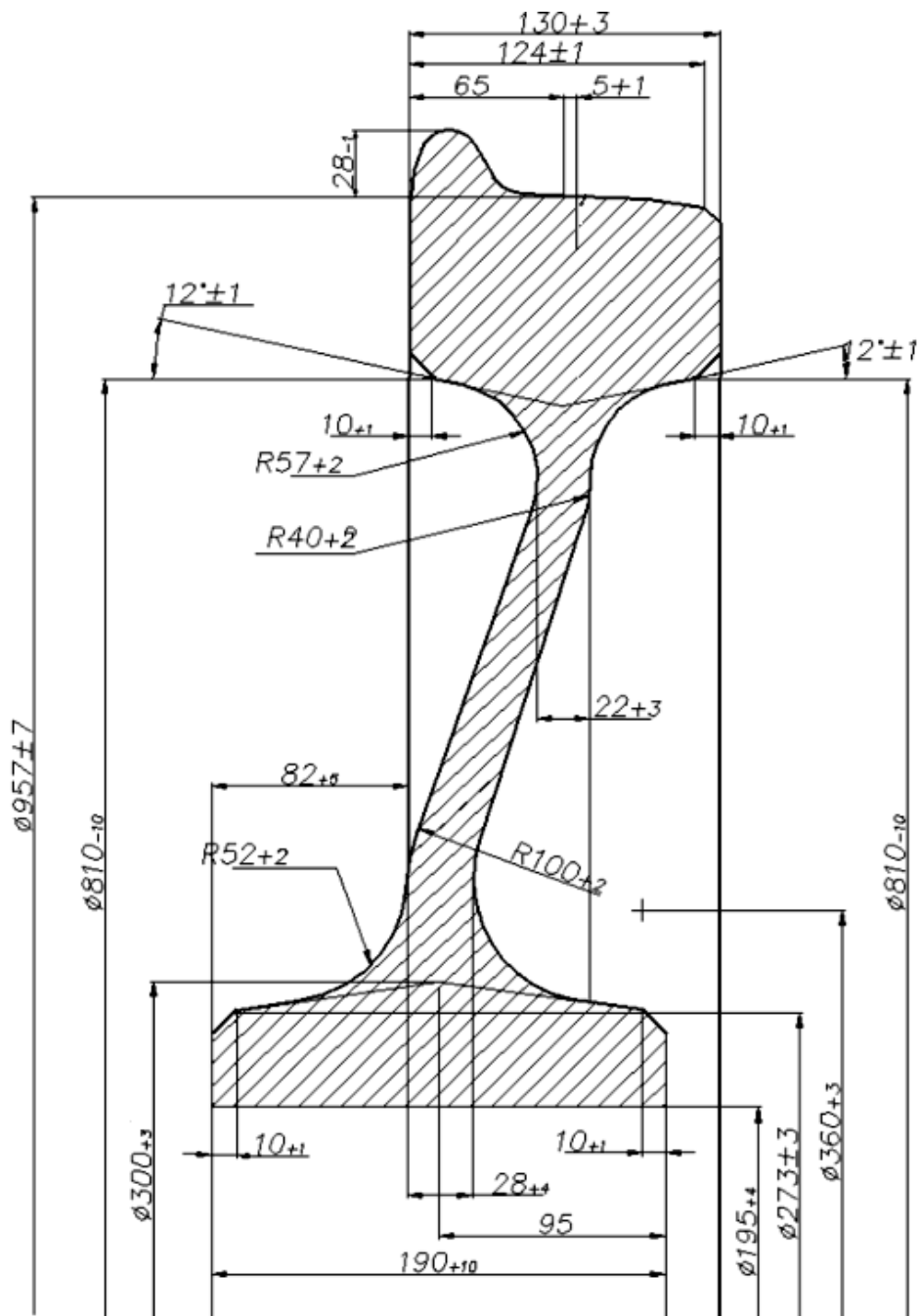


Рисунок 5 – Суцільнокатане колесо підвищеної якості та твердості

На даний час ведуться роботи з покращення зносостійкості коліс та збільшення їхньої гнучкості при взаємодії з короткими нерівностями рейок для осьового навантаження 23,5 тс (рис. 5).

## 1.2. Огляд профілів поверхні кочення колісних пар

У кривих ділянках колії зовнішня рейка має більшу довжину, ніж

|    |       |         |        |      |
|----|-------|---------|--------|------|
|    |       |         |        |      |
| Зм | Аркуш | № докум | Підпис | Дата |

0031.216524.ДМР.2022.001

Арк.

17

внутрішня. Це означає, що довжина відстані, яку проходить циліндричне колесо по зовнішній рейці, більша за довжину відстані при умові руху по внутрішній рейці іншим колесом тієї ж колісної пари. З'єднані віссю колеса, котяться по зовнішній і внутрішній рейкам і роблять одне й те число оборотів за одиницю часу, не можуть пройти цей шлях чистим коченням. Для того щоб їх шлях виявився рівним, одне з них або вони разом, повинні ковзати на частині відстані, що дорівнює різниці між довжинами зовнішньої та внутрішньої рейок. Виникаюче при ковзанні тертя збільшує опір руху, зношує колеса та рейки. Тому поверхня кочення коліс у колісних парах обробляється так, що створюється конус зі змінним кутом  $\gamma$  до осі колісної пари (рис. 6), який закінчується з внутрішньої сторони гребенем. Він запобігає сходженню з рейок і спрямовує екіпаж, коли дотичні сили на поверхні кочення не мають достатнього опору поперечному переміщенню. Положення точки контакту колеса і рейки, що відповідає середній установці колісної пари на прямій ділянці колії, визначає так зване коло кочення, по якому вимірюється діаметр колеса. Із зовнішньої сторони профіль колеса має зкіс, за рахунок якого колесо піднімається над головкою рейки, що покращує проходження стрілочних переводів. Перехід від поверхні кочення до гребеня зазвичай виконується у вигляді дуги кола.

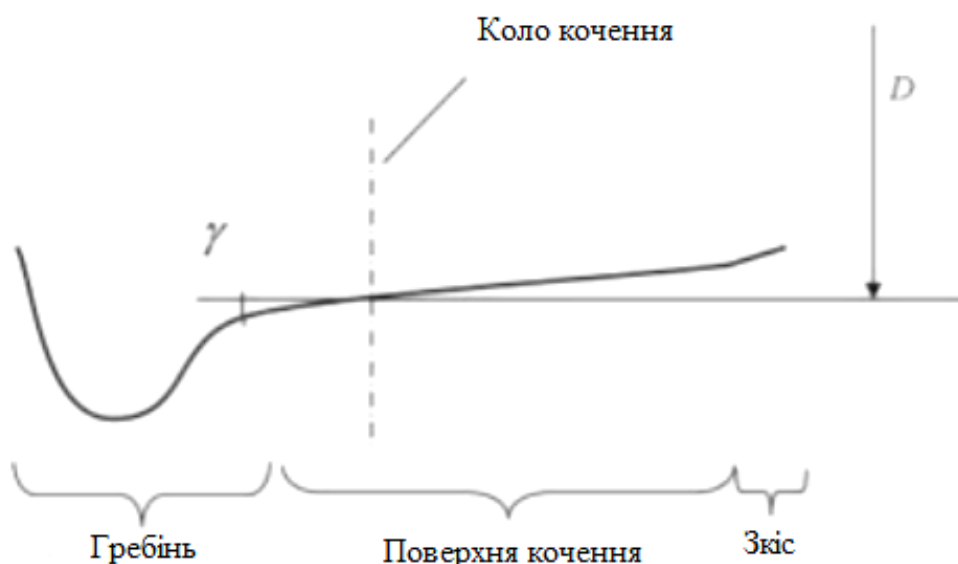
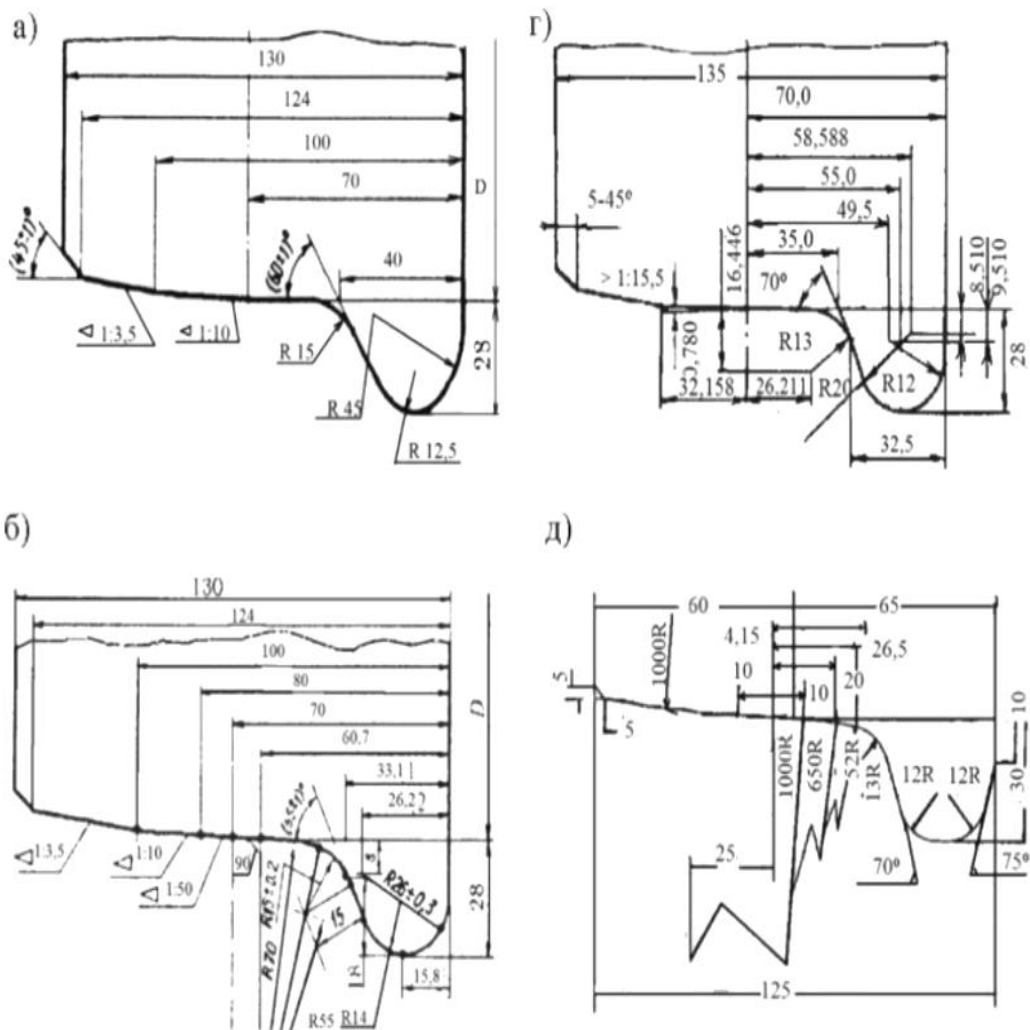


Рисунок 6 – Основні елементи профілю колеса

|    |       |         |        |      |  |                          |      |
|----|-------|---------|--------|------|--|--------------------------|------|
|    |       |         |        |      |  | 0031.216524.ДМР.2022.001 | Арк. |
| Зм | Аркуш | № докум | Підпис | Дата |  |                          | 18   |

При конічній формі поверхні кочення, колеса окремої колісної пари в кривій зміщуються поперечно осі колії і котяться по рейках колами різних діаметрів: великим по зовнішній рейці і меншим по внутрішній. Кожному радіусу кривої відповідає лише одна конусність. Так як криві ділянки колії залізниць мають різні радіуси, то вибір форми поверхні кочення коліс, яка б забезпечувала можливість меншого проковзування в кривих, залежить від особливостей залізниці.

На (рис. 7) показані приклади проектних профілів коліс, які створюють під час виготовлення колісних пар. Незважаючи на різноманітність форми, усі профілі мають деякі загальні властивості. Ширина профілю зазвичай становить 125...135 мм, а висота гребеня - 28...30 мм. Кут нахилу гребеня до горизонталі знаходиться у діапазоні від 60 до 70°. Радіус перехідної зони від поверхні кочення до гребеня становить 12...15 мм.



|    |       |         |        |      |
|----|-------|---------|--------|------|
| Зм | Аркуш | № докум | Підпис | Дата |
|----|-------|---------|--------|------|



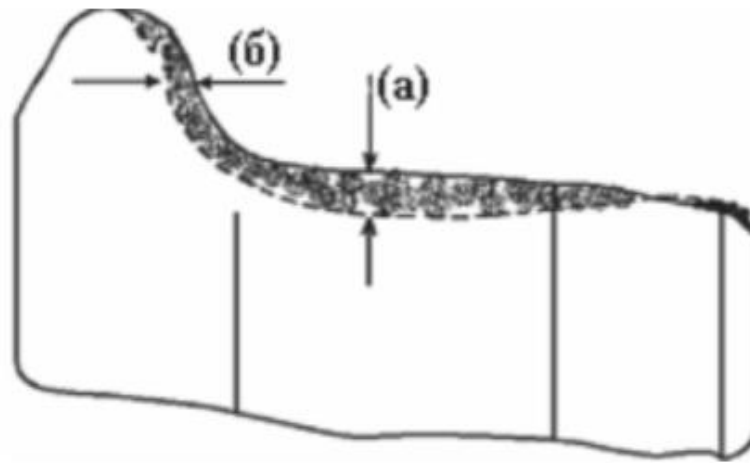


Рисунок 8 – Зношування по колу кочення (а) і боковий знос гребеня (б)

Профілі коліс, що виникли в експлуатації, можуть істотно відрізнятися від проектних. Форма зношеного профілю колеса в експлуатації залежить від таких факторів, як план та профіль колії, конструкція підвішування вагона, режими тяги та гальмування, форма профілів рейок, наявність лубрикації рейок тощо. Зі зростанням зносу поверхні кочення збільшується висота гребеня, що у граничному разі може призвести до небажаного контакту з елементами колії. Якщо при зносі на поверхні кочення утворюється увігнута поверхня, то поверхні колеса і рейки зазнають підвищених напружень, що може призвести до утворення напливу металу або виникнення тріщин внаслідок контактної втоми. Зменшення товщини гребеня збільшує кут нахилу, знижує його міцність, що може призвести до сходів з рейок при проходженні стрілочних переводів. Для безпеки руху колеса в експлуатації регулярно обточуються для відновлення проектного профілю або спеціального ремонтного профілю.

Профілі коліс та рейок визначають умови їх контакту (рис. 9). Розрізняють одноточковий (а), двоточковий (б) та конформний (в) контакт.

Одноточковий контакт виникає, наприклад, на прямих ділянках колії між колесом з конічною формою і головкою рейки закругленою по радіусу.

При двоточковому контакті колесо дотикається до рейки в зоні поверхні кочення та гребенем. Така ситуація характерна для руху зовнішнього колеса по

зовнішній рейці в кривій і є проміжною між одноточковим контактом на поверхні кочення і торканням тільки гребенем з відривом поверхні кочення від рейки, що може передувати сходу колеса з рейки. Через різні радіуси кочення на поверхні кочення і на гребені, в плямі контакту на гребені виникає збільшене проковзування, що викликає його прискорене зношування. Одним із напрямків проектування сучасних зносостійких профілів коліс є створення форм, що забезпечують плавний перехід плями контакту з поверхні кочення на гребінь (без стрибка та двоточкового контакту), такі профілі називаються профілями одноточкового контакту.

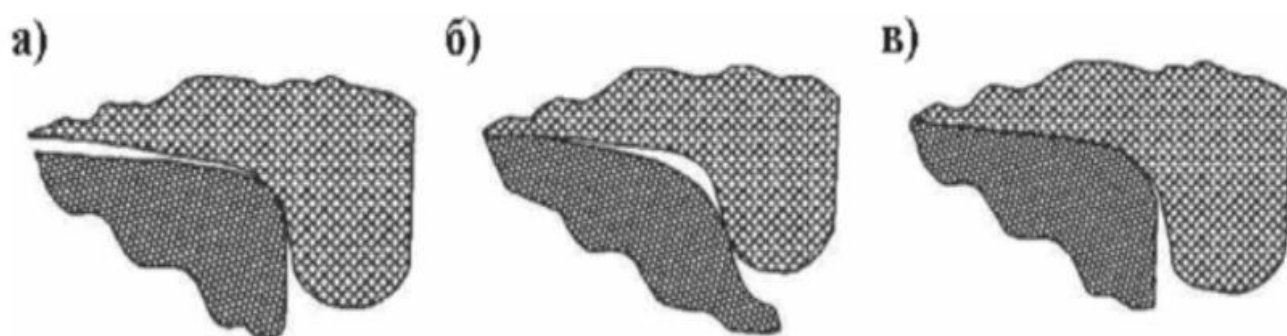


Рисунок 9 – Різні ситуації при контакті колеса та рейки: а – одноточковий контакт; б – двоточковий контакт; в – конформний контакт

Конформним контактом називається ситуація, коли кривизна профілю колеса близька до кривизни головки рейки. Пляма контакту має збільшений вздовж профілю розмір, відповідно знижуються контактні напруження між колесом і рейкою. Виникнення ситуації конформного контакту на магістральних коліях малоймовірно, оскільки різним ділянкам рейкової колії залежно від пропущеного тоннажу і кривих відповідають різні профілі рейок.

На магістральних залізницях колії 1520 мм для вагонів локомотивної тяги та немоторних вагонів електропоїздів застосовується профіль колеса за ГОСТ 9036-88 [5] (рис. 10). Середня частина поверхні кочення має конусність 1:10 (ухил 1:20), яка сприяє центруванню колісної пари. Бокова зовнішня поверхня кочення має конусність 1:3,5 (ухил 1:7) та зкіс шириною 5..6 мм, що має кут з

вертикаллю  $45^\circ$ , які покращують проходження стрілочних переводів. Кут нахилу до горизонталі робочої поверхні гребеня становить  $60^\circ$ .

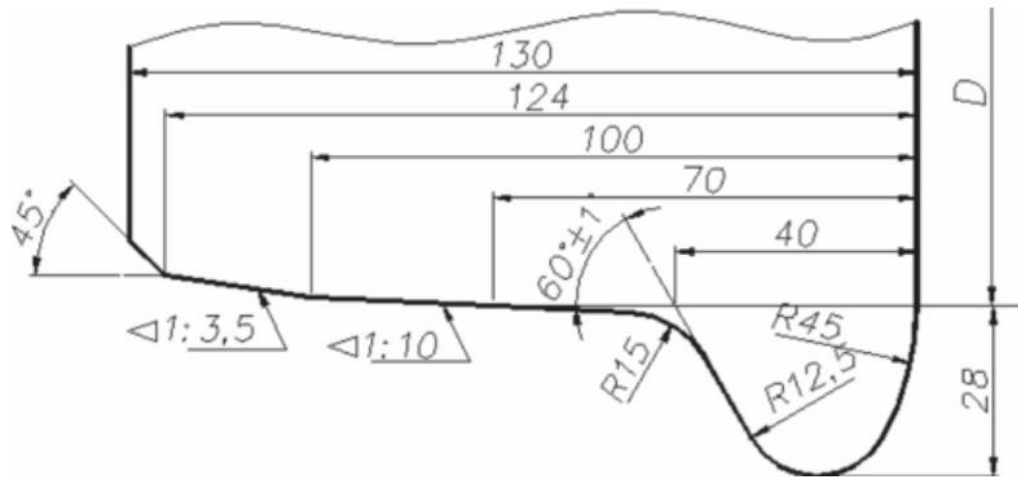


Рисунок 10 – Профіль колеса за ГОСТ 9036-88

Відповідно до вимог «Правил технічної експлуатації залізниць України» [9] товщина гребеня не повинна перевищувати 33 мм і бути не менше 25 мм при висоті гребеня 28 мм - при вимірюванні на відстані 18 мм від вершини гребеня.

Для локомотивів та моторвагонного рухомого складу профілі поверхні кочення (рис. 11, 12) визначаються ДСТУ ГОСТ 11018:2005 [4].

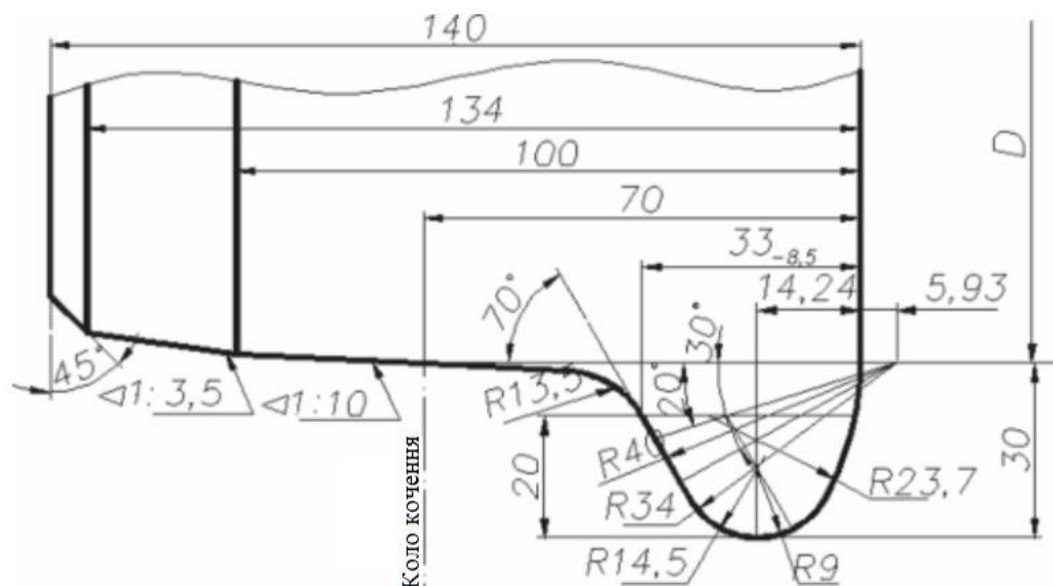


Рисунок 11 – Профіль колеса для локомотивів відповідно до ДСТУ ГОСТ 11018:2005

|    |       |         |        |      |
|----|-------|---------|--------|------|
|    |       |         |        |      |
| Зм | Аркуш | № докум | Підпис | Дата |

0031.216524.ДМР.2022.001

Арк.

23

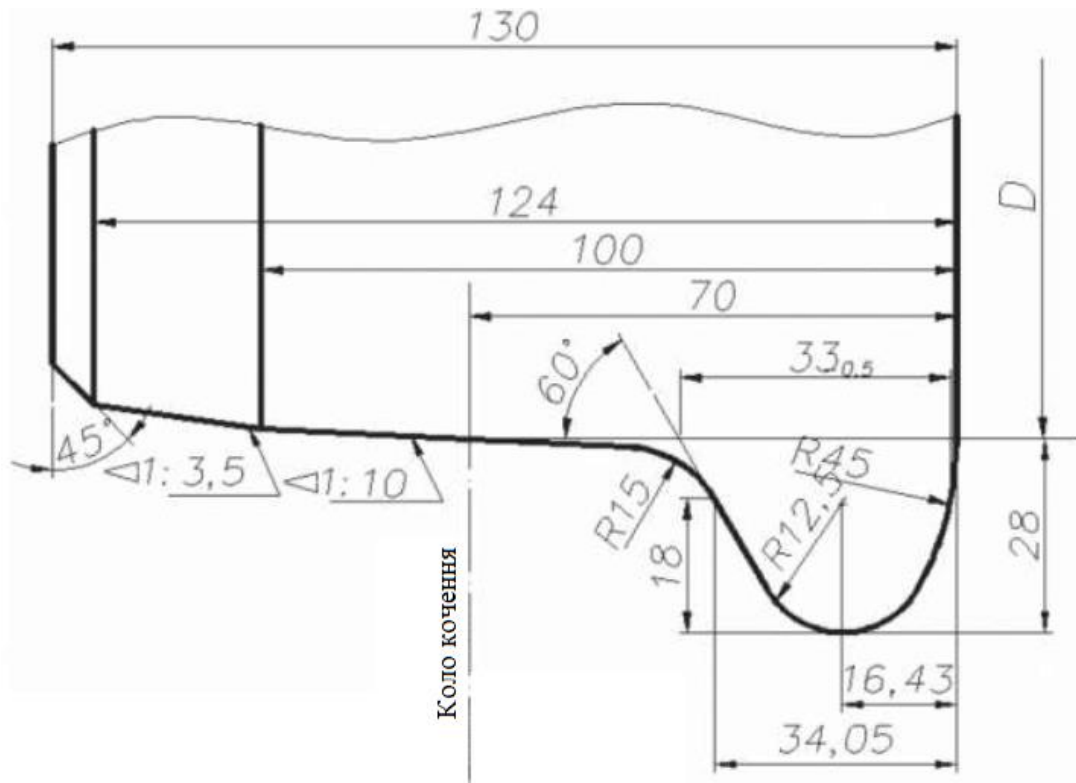


Рисунок 12 – Профіль колеса для моторвагонного рухомого складу відповідно до ДСТУ ГОСТ 11018:2005

Профіль колеса для моторвагонного рухомого складу практично не відрізняється від профілю для вагонів локомотивної тяги, а профіль колеса для локомотивів має нелінійну форму робочої поверхні гребеня зі збільшеним до  $70^\circ$  нахилом, що покращує його зносостійкість.

### 1.3 Хімічний склад та механічні властивості коліс

Відомо, що на поведінку екіпажу значний вплив мають характеристики зчеплення коліс з рейками та сили пружного проковзування або крипу в зоні контакту колеса та рейки. Важлива роль при цьому належить властивостям матеріалів, з яких виготовлені колеса та рейки. Твердість металу є одним із суттєвих факторів впливу на зносостійкість коліс залізничного рухомого складу.

Як показує сучасний міжнародний досвід, співвідношення механічних характеристик коліс вантажних вагонів 365-325 *НВк* та основного типу рейок 300-330 *НВр* у США становить у середньому 1,1. Співвідношення межі міцності коліс

|    |       |         |        |      |
|----|-------|---------|--------|------|
| Зм | Аркуш | № докум | Підпис | Дата |
|----|-------|---------|--------|------|

0031.216524.ДМР.2022.001

Арк.

24



відхилень у розподілі фактичної маси бруто вагонів по осям від проектної.

Заготовки осей виготовляються із сталі марки ОС, отриманої мартенівським, киснево-конверторним або електродуговим способом [12].

Сталь повинна проходити обробку шляхом продування інертним газом. За погодженням із споживачем допускається виготовлення заготовок із сталі без позапічної обробки інертним газом. Хімічний склад сталі має відповідати нормам, зазначеним у (табл. 6).

Таблиця 6 – Хімічний склад осей

| Масова доля хімічних елементів, % |           |           |           |      |     |      |      |
|-----------------------------------|-----------|-----------|-----------|------|-----|------|------|
| C                                 | Mn        | Si        | P         | S    | Cr  | Ni   | Cu   |
|                                   |           |           | Не більше |      |     |      |      |
| 0,42-0,50                         | 0,60-0,90 | 0,15-0,35 | 0,04      | 0,04 | 0,3 | 0,30 | 0,25 |

Сумарний вміст сірки і фосфору в сталі повинно бути не більше 0,070%. Граничні відхилення на вміст масових частинок хімічних елементів у готових заготовках становлять: для вуглецю  $+0,03$  /  $-0,02$  %, марганцю  $+0,10$  /  $-0,05$  %, кремнію + 0,05% сірки та фосфору + 0,005%.

Після формоутворення чернові осі піддаються термічній обробці – нормалізації або нормалізації з подальшим відпуском.

### Висновки до розділу 1

- проаналізовано основні типи колісних пар, їх конструктивні розміри відповідно до вимог чинних стандартів, які діють на залізничному транспорті України;
- розглянуто проектні профілі коліс та різні їх схеми при взаємодії з рейковою колією;
- показано основні співвідношення механічних характеристик колеса та рейки в USA та Міжнародному союзі залізниць, що в середньому становить 1,1 та 1,15 відповідно.

## РОЗДІЛ II. РЕСУРС КОЛІСНИХ ПАР ТА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЙОГО РЕАЛІЗАЦІЇ

### 2.1 Особливості механізму зносу поверхні кочення коліс

Комплексний підхід до механізму зношування залізничних коліс включає не тільки вивчення структурних змін, що відбуваються в поверхневих шарах ободів, але також аналіз частинок зношування та встановлення механізму їх утворення. Різноманітність умов роботи пар тертя дозволяє стверджувати, що загальним підходом може бути уявлення про втомну природу руйнування поверхневих шарів. Такий підхід необхідний як при виборі хімічного складу сталей пари тертя колесо-рейка з урахуванням їхньої циклічної міцності та довговічності, так і при розробці нових конструкцій коліс з урахуванням умов їх експлуатації. Цікавість до вивчення механізму зносу, що різко зросла в останні роки, пов'язана не тільки з необхідністю скорочення пов'язаних зі зносом втрат, але і з розробкою ефективних методів прогнозування довговічності коліс, забезпеченням надійності їх роботи, особливо в екстремальних умовах (великі навантаження, високі швидкостя, підвищені температурні навантаження на затяжних спусках і т.д.).

Втомні процеси пов'язані з виникненням поблизу поверхні кочення зони пластичної деформації та ділянок «білого шару», який відрізняється крихкістю, а також з наявністю поблизу поверхні кочення частинок неметалевих включень і ділянок корозійного пошкодження сталі, що утворилися в процесі експлуатації. Ці структурні зміни викликають появу дефектів втомного походження (тріщин, частинок зносу), які призводять до руйнування обода (причому дуже небезпечним є підріз гребеня), а також зміну профілю колеса в результаті зміщення шарів металу вздовж поверхні кочення. Таким чином, механізм зносу поверхні кочення представляє сукупність механічних, теплофізичних та хімічних явищ і пов'язаний з утворенням частинок зносу та мікротріщин у місцях інтенсивної пластичної деформації та в ділянках «білого шару», поблизу

|    |       |         |        |      |                          |      |
|----|-------|---------|--------|------|--------------------------|------|
|    |       |         |        |      | 0031.216524.ДМР.2022.001 | Арк. |
| Зм | Аркуш | № докум | Підпис | Дата |                          | 27   |

частинок неметалевих включень та продуктів корозії сталі.

Очевидно, розглядаючи особливості розвитку пластичної деформації колісної сталі поблизу поверхні кочення колеса, слід враховувати взаємодію цієї поверхні з навколишньою атмосферою, що призводить до утворення корозійних пошкоджень. Відомо, що початковий етап корозії включає адсорбцію атомів елементів з вологого середовища, що може викликати ефект адсорбційного полегшення пластичної деформації поблизу поверхні кочення колеса. Явище пластифікування поверхневих шарів пояснюють впливом зміни поверхневої енергії на поведінку деформованого твердого тіла (зниженням поверхневого потенційного бар'єру, що впливає на поведінку дислокацій у приповерхневому шарі металу, що деформується), а також зменшенням сил тертя. Очевидно, пластифікування поверхневості кочення сприяє на початкових етапах експлуатації залізничного колеса до згладжування шорсткостей на поверхнях кочення колеса і рейки, допустимої зміни профілю поверхні кочення колеса, що прискорює, так званий, корисний знос, необхідний для прискорення процесу припрацювання в системі колесо.

Далі для утворення поверхневих дефектів (часток зношування) в умовах змінної дії напружень необхідно досягнення граничного стану деформаційного зміцнення сталі, і цей етап деформації прискорюється під дією поверхнево-активного середовища. При утворенні та відшаруванні частинок зносу, коли йде втомне руйнування поверхні кочення колеса і з'являються нові «свіжі» поверхні тріщин, що розвиваються, на них відбувається адсорбція активних елементів навколишнього вологого середовища. Таке адсорбційне проникнення поверхнево-активних компонентів усередину тріщин відбувається з досить високими швидкостями, що призводить до зниження поверхневої енергії тріщин (а отже, і роботи їх утворення) та полегшує тим самим подальший їх розвиток у процесі пластичної деформації сталі. Крім того, в результаті адсорбційних процесів на поверхні частинок зношування розвивається корозія сталі, тому на них нерідко видно продукти окислення. Відомо, що вологе середовище проникає

|    |       |         |        |      |                          |      |
|----|-------|---------|--------|------|--------------------------|------|
|    |       |         |        |      | 0031.216524.ДМР.2022.001 | Арк. |
| Зм | Аркуш | № докум | Підпис | Дата |                          | 28   |

всередину тріщин, що утворилися під впливом капілярного тиску з досить високою швидкістю. Термодинамічна неминучість процесу проникнення поверхнево-активних речовин у тріщини пояснюється зниженням поверхневої енергії всередині тріщини під впливом адсорбції. Таким чином, вологе навколишнє середовище, що містить до того ж різні мастила, забруднення і т. д., негативно впливає на втомну міцність поверхні кочення колеса завдяки адсорбційному і корозійному ефектам.

Другим джерелом утворення частинок зносу на поверхні кочення колеса є, так званий, «білий шар», який має підвищену крихкість. На межі його розподілу з основною структурою колісної сталі виникають значні напруження, зумовлені різними фізичними та механічними властивостями зон з різною структурою. Крім того, поблизу ділянок «білого шару» виявляється локалізація деформації поверхневого шару обода колеса, що також сприяє концентрації напружень на кордоні «білий шар» - основна структура колісної сталі. Такі частинки зношування мають вигляд уламків з гострими кряями неправильної форми. Вони зазвичай виникають при дуже високих тисках і їх появу можна пов'язати з утворенням у поверхневих шарах ободу дрібних втомних тріщин, вихід яких на поверхню є початком утворення частинок зносу.

Третьою причиною утворення частинок зносу є неметалеві включення, які мають металургійне походження і є концентраторами напружень та деформації в колісній сталі [13-14]. Утворенню тріщин і частинок зносу також сприяє окислення та корозійне руйнування поверхні кочення, причому ці процеси призводять до формування безпосередньо поверхні кочення грубих включень складних оксидів. Раніше проведеними дослідженнями встановлено, що наявність частинок другої фази суттєво підвищує швидкість утворення мікротріщин та їх об'єднання, що збільшує інтенсивність зношування (як втомного так і у процесі тертя) [15].

|    |       |         |        |      |                          |      |
|----|-------|---------|--------|------|--------------------------|------|
|    |       |         |        |      | 0031.216524.ДМР.2022.001 | Арк. |
| Зм | Аркуш | № докум | Підпис | Дата |                          | 29   |

## 2.2 Дефекти колісних пар

На практиці зустрічається понад 60 видів дефектів колісних пар (КП), які виникають під впливом різних факторів, і від них прямо чи опосередковано залежить безпека руху. Тому колісні пари, у яких дефекти перевищують встановлені норми, ремонтуються або виключаються з інвентарю [16].

Перша спроба систематизувати та класифікувати дефекти колісних пар була запропонована в 1966 р. А. Є. Цикуновим [17], а пізніше, у 1968 р., М. М. Машнев розробив класифікацію дефектів ободів коліс [18].

Пізніше з урахуванням попереднього досвіду була запропонована класифікація, що є ієрархічною структурою розподілу дефектів відповідно до природи їх походження. У запропонованій класифікації колісна пара розглядається як єдиний об'єкт, і в самих назвах дефектів закладена приналежність їх до колеса, осі або до колісної пари в зборі.

*Несправністю* називається стан КП, у якому один чи кілька параметрів її відповідають встановленим вимогам. У несправний стан КП переходить через відмову, під якою розуміється подія, що призводить колісну пару до повної чи часткової втрати працездатності.

Під *дефектом* розуміється якесь порушення справного стану колісної пари внаслідок зношування, пошкодження, поломки. Дефекти, що виявляються при експлуатації та ремонті, за характером і величиною умовно можуть бути розділені на допустимі та неприпустимі. До допустимих відносяться дефекти, при яких дозволяється експлуатація колісних пар, до неприпустимих – дефекти, що призводять до відмови. При настанні відмови колісну пару або відновлюють під час ремонту, або виключають із інвентарю.

Як показує практика, колісні пари мають від одного до кількох видів дефектів одночасно. Тому необхідно враховувати ступінь впливу кожного з них на безпеку руху рухомого складу. Так, для безпеки руху найбільшу загрозу створюють тріщини, особливо поперечні в осях та в ободі коліс, зрушення коліс на осі, злами коліс та осей.

|    |       |         |        |      |                          |      |
|----|-------|---------|--------|------|--------------------------|------|
|    |       |         |        |      | 0031.216524.ДМР.2022.001 | Арк. |
| Зм | Аркуш | № докум | Підпис | Дата |                          | 30   |

Нижче розглядаються характеристики дефектів, причини їх виникнення та граничні норми дефектів, що призводять колісні пари до несправного стану.

### **Граничний знос**

Знос – це руйнування мікрооб’ємів поверхневого шару, яке при терті призводить до зміни розмірів, форми та стану поверхні. Знос залежить від умов тертя, властивостей матеріалу і конструктивних особливостей пар, що труться. Зношування піддаються поверхні кочення коліс, шийки та інші частини осей. До класу «Граничний знос» внесені дефекти, які визначаються безпосереднім виміром координати зносу. Інші дефекти, що виникають під впливом зношування, розміщені в інших класах.

Розрізняється круговий та локальний знос. Круговий знос утворюється на поверхні обертання, що труться по круговому периметру і може бути рівномірним або нерівномірним. Рівномірне зношування протікає рівномірно, а нерівномірне - з різною інтенсивністю за профілем або по круговому периметру. В результаті кругового рівномірного зношування утворюється прокат, а в результаті нерівномірного зношування по круговому периметру - нерівномірний прокат. Нерівномірний круговий знос за профілем призводить до утворення ступінчастого прокату, вертикального підрізу гребеня колеса, задирів і рисок на поверхні шийки та передпідступічній частині, а також протертості на середній частині осі. Локальне (місцеве) зношування характеризується утворенням плоского місця (майданчика) на поверхні кочення колеса і називається повзуном.

### **Круговий знос**

Рівномірне кругове граничне зношування колеса ( $h$ ) в площині кола кочення - прокат - показаний на (рис. 14). За своєю природою механізм утворення прокату вкрай складний та залежить від багатьох факторів. Встановлено, що зношування при взаємодії поверхні кочення коліс з рейками відбувається внаслідок одночасної дії двох процесів: зминання від тиску на площині контакту та стирання металу під дією сил тертя, що виникають при гальмуванні від ковзання колеса по рейці та колодки по ободу. Збільшення

|    |       |         |        |      |                          |      |
|----|-------|---------|--------|------|--------------------------|------|
|    |       |         |        |      | 0031.216524.ДМР.2022.001 | Арк. |
| Зм | Аркуш | № докум | Підпис | Дата |                          | 31   |

прокату від стирання пов'язане з пластичною деформацією і, крім того, з тепловими явищами, що протікають у верхньому шарі обода колеса при взаємодії його з рейками і гальмівною колодкою. При стиранні коліс спостерігається відділення пластично деформованих та структурно змінених частинок металу.

Дослідження показали, що за відсутності проковзування або при дуже малому проковзуванні знос є незначним. Великі напруження в металі виникають через наявність компоненти ковзання, спрямованої поперек напрямку кочення колеса по рейці. Процес зносу при коченні з сильним ковзанням дуже близький до процесу зносу при ковзанні. Збільшення прокату до максимально допустимого (граничного) відбувається нерівномірно. У початковий період припрацювання процес утворення прокату протікає в 3 рази швидше, ніж після припрацювання. У період припрацювання, крім інтенсивного зносу мікронерівностей поверхні кочення, відбувається ущільнення верхніх шарів металу та утворення наклепу. Твердість наклепанного шару у коліс, що тривало працюють, досягає 470 НВ. Зі зменшенням товщини обода після обточок середня швидкість утворення прокату зростає. Це пояснюється нерівномірним розподілом твердості металу обода нового колеса за товщиною та у напрямку від гребеня до фаски. Так, у поверхні кочення нового колеса твердість 300...320 НВ, але в глибині 30 мм – 250...285 НВ і менше.

Нерівномірне за профілем кругове зношування – ступінчастий прокат, при якому на поверхні кочення утворюється яскраво виражений ступінь (рис. 14, б). Ступінчастий прокат виникає при зміщенні плями контакту колеса і рейки у бік фаски в основному через несиметричну посадку коліс на вісь, велику різницю діаметрів коліс по колу кочення, неправильну установку колісної пари в візку або перекосу рами візка. Ступінчастий прокат спостерігається, як правило, на одному колесі колісної пари, інше часто має або підвищений знос, або вертикальний підріз гребеня. Найбільша глибина ступінчастого прокату знаходиться на відстані 25...30 мм від кола кочення у бік фаски. Колісні пари зі

|    |       |         |        |      |                          |      |
|----|-------|---------|--------|------|--------------------------|------|
|    |       |         |        |      | 0031.216524.ДМР.2022.001 | Арк. |
| Зм | Аркуш | № докум | Підпис | Дата |                          | 32   |



вертикальним підрізом гребеня може призвести до сходу вагонів з рейок за умови протишерстного руху стрілочним переводом.

Сідлоподібний прокат – нерівномірне по поперечному профілю обода кругове зношування, при якому на поверхні кочення утворюється увігнута площина. Величина сідлоподібності характеризується перевищенням  $\Delta$  поверхні з ухилом 1:7 над нижньою точкою площини (рис. 14, г). Прокат з підвищеною сідлоподібністю виникає частіше у колісних парах неправильно зібраних візків. Він утворюється за величиною прокату понад 5 мм. Сідлоподібність більше 1 мм викликає різкі удари та поштовхи з підстрибуванням колісної пари при перекочуванні з рамної рейки на притиснутий вістряк, з вусовика на сердечник хрестовини та через хвостовик хрестовини.

Кільцеві випрацювання – нерівномірне за поперечним профілем кругове зношування, при якому на поверхні кочення колеса утворюються місцеві заглиблення з різною шириною (рис. 14, д). Такий вид зносу спостерігається у колісних пар, що експлуатуються з композиційними гальмівними колодками. Кільцеві випрацювання в загальному утворюються по краях зони контакту поверхні кочення з гальмівною колодкою. Виникнення кільцевих випрацювань пояснюється неоднаковими термічними умовами, за яких відбувається робота поверхневих шарів металу колеса та композиційної колодки по ширині зони контакту, та впливом абразивних частинок пилу на поверхню тертя по краях колодки.

Нерівномірний прокат – нерівномірне по круговому периметру зношування, при якому зношене колесо має в площині кола кочення форму, відмінну від круглої. Цей вид зносу характеризується неоднаковим прокатом у різних перерізах профілю по колу кочення. Нерівномірність прокату визначається різницею вимірювань прокату в перерізі максимального зношування і з кожного боку від цього перетину на відстані до 500 мм. Нерівномірний прокат виникає через неоднорідність властивостей, які набуває

|    |       |         |        |      |                          |      |
|----|-------|---------|--------|------|--------------------------|------|
|    |       |         |        |      | 0031.216524.ДМР.2022.001 | Арк. |
| Зм | Аркуш | № докум | Підпис | Дата |                          | 34   |

метал на поверхні кочення колеса, внаслідок теплових та механічних впливів при гальмуванні.

### **Механічні пошкодження, що спричиняють деформацію колеса**

Гострокінцевий накат гребеня колеса – механічне пошкодження, яке характеризується утворенням виступу по круговому периметру гребеня у місці переходу його зношеної бокової поверхні до вершини (рис. 15, а). Гострокінцевий накат виникає в результаті пластичної деформації поверхневих шарів металу гребеня у бік його вершини через високий контактний тиск та інтенсивне тертя у місці взаємодії з головкою рейки. Цьому сприяє ненормальна робота колісної пари, викликана тими самими причинами, які призводять до виникнення підвищеного зносу та підрізу гребеня колеса. Експлуатація колісних пар із гострим накатом заборонена, також при русі таких вагонів можливе їх сходження з рейок при протишерстному русі поїздів.

Круговий наплив на фаску колеса – допустиме в експлуатації механічне пошкодження, яке характеризується зміщенням металу обода у бік фаски та утворенням напливу від 3 до 8 мм, що виступає над зовнішньою поверхнею обода (рис. 15, б). Круговий наплив утворюється в результаті пластичної деформації верхніх шарів металу обода, що виникає під дією нормальних та бокових зусиль найчастіше у кривих ділянках колії. Утворення напливу починається, як правило, у колісних пар із прокатом близько 5 мм, а зі збільшенням прокату наплив зростає. На колесах з малою товщиною обода, твердість металу яких нижче, наплив утворюється з меншим прокатом і зростає інтенсивніше. Круговий наплив є дефектом, який найчастіше супроводжує граничний прокат.

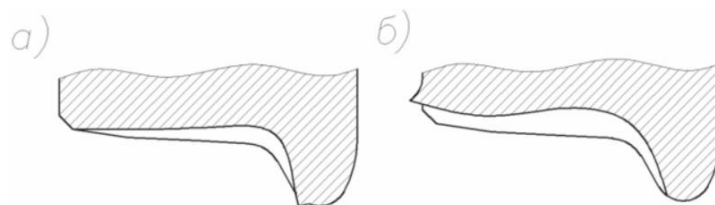


Рисунок 15 – Механічні пошкодження колеса: *а* – гострий накат гребеня;

*б* – круговий наплив металу на фаску колеса

|    |       |         |        |      |                          |      |
|----|-------|---------|--------|------|--------------------------|------|
|    |       |         |        |      | 0031.216524.ДМР.2022.001 | Арк. |
| Зм | Аркуш | № докум | Підпис | Дата |                          | 35   |

Місцеве розширення обода колеса – механічне пошкодження, яке характеризується утворенням місцевого напливу в зоні фаски обода колеса. Місцеве розширення обода кількісно визначається різницею вимірів ширини обода по колу колеса і виникає в результаті пластичної деформації металу під дією циклічних нормальних сил через наявність місцевого внутрішнього дефекту (неметалічного включення, раковини, розшарування металу) на певній глибині обода.

### **Руйнування**

Руйнування характеризується відділенням одних частин металу з інших під впливом зовнішніх і внутрішніх сил. Руйнуванню, як правило, передують пошкодження, зміна структури і порушення суцільності металу. Руйнування проявляється у вигляді викрашування металу (вищербин), відколу окремих частин його та зламу коліс та осей. Викрашування характеризується відокремленням від цілого металу частинок деформованого структурно зміненого диспергованого металу. Розрізняють три типи вищербин на поверхні кочення коліс: вищербини, що виникають у місцях термомеханічних пошкоджень, у місцях втомних і термічних тріщин. Відколи (відділення від цілого більших частин металу) зустрічаються двох видів: поверхневий - біля зовнішньої грані обода і відкол кругового напливу обода колеса. Злам – це поділ цілого на дві чи кілька частин, у якому незворотно втрачається властивість цілого. На практиці мають місце злами колеса та осей по тріщинах та злами шийок осей від перегріву.

### **Вищерблення металу**

Вищерблення в місцях термомеханічних пошкоджень, у місцях втомних і термічних тріщин обода колеса – місцева руйнація, що характеризується різними розмірами та формою. Вищербини в місцях термомеханічних пошкоджень і в місцях термічних тріщин характеризуються невеликою глибиною (не більше 2-3 мм), причому останні зазвичай розташовуються групами і мають паралельні грані, поперечно орієнтовані відносно поверхні кочення. Ці вищербини утворюються під

|    |       |         |        |      |                          |      |
|----|-------|---------|--------|------|--------------------------|------|
|    |       |         |        |      | 0031.216524.ДМР.2022.001 | Арк. |
| Зм | Аркуш | № докум | Підпис | Дата |                          | 36   |

дією дотичних і нормальних сил під час гальмування. Великі залишкові напруження загартованого верхнього шару металу коліс викликають утворення мікротріщин, які поступово розвиваючись, з'єднуються між собою, внаслідок чого відбувається фарбування металу з поверхні кочення.

Вищербини в місцях втомних тріщин глибші (до 20 мм). Вони утворюються в результаті втомного руйнування поверхневих шарів металу коліс, під дією контактних навантажень, що багато разів повторюються. Такі вищербини розвиваються з невеликих тріщин, що утворюються в сильно деформованому поверхневому шарі колеса. Глибина вищербин визначається так само, як глибина повзунів.

### **Відкол**

Відкол зовнішньої грані обода колеса – місцеве секторне руйнування у вигляді поверхневого відколу металу біля зовнішньої грані в районі фаски обода колеса, що характеризується значною глибиною та довжиною (іноді до 200 мм по колу колеса). Відкол виникає в результаті втомних процесів від дії нормальних і дотичних сил шляхом розвитку тріщин, що утворюються на глибині 8...10 мм за наявності місцевого концентратора напружень у вигляді раковини, неметалевого включення і т.д. Насправді зустрічається дуже рідко.

Відкол кругового напливу обода колеса – руйнація металу у вигляді відколу кругового напливу або на окремих ділянках, чи з усього кола ободу. Відкол кругового напливу відбувається або через втомні процеси, що протікають у місці напливу, або під дією гіркових уповільнювачів при розпуску вагонів на механізованих гірках. До колісних пар з відколами зовнішньої грані та круговим напливом обода висуваються ідентичні вимоги.

### **Злам**

Злам колеса – руйнування колеса в результаті розвитку тріщин або у маточини, або у обода.

Злами колеса та осі надзвичайно небезпечні для руху поїздів і можуть спричинити важкі наслідки, якщо вчасно не виявити дефекти, що призводять до зламів.

|    |       |         |        |      |                          |      |
|----|-------|---------|--------|------|--------------------------|------|
|    |       |         |        |      | 0031.216524.ДМР.2022.001 | Арк. |
| Зм | Аркуш | № докум | Підпис | Дата |                          | 37   |

## Порушення геометричного параметру

Дефекти, що спричиняють порушення геометричних параметрів, характеризуються невідповідністю розмірів, форми та розташування поверхонь внаслідок зносу або пошкодження колісних пар встановленим нормам. Контрольовані в експлуатації та при ремонті розміри та відхилення форми та розташування поверхонь колісної пари вказані в нормативних документах.

Порушення розміру виникає в результаті зносу, зсуву маточини та багаторазового обточування внутрішніх граней коліс. Вимірювання ширини обода проводиться поза місця розташування маркування колеса.

*Товщина обода колеса.* Порушення розміру відбувається в результаті зношування та пошкоджень поверхні кочення та подальшого багаторазового відновлення профілю шляхом обточування обода колеса. Товщина обода (рис. 16) вимірюється по колу кочення. За наявності на колесі повзуна або вищербини товщину обода необхідно визначати у місці розташування дефекту.

*Товщина гребеня колеса.* Порушення розміру відбувається внаслідок інтенсивного зносу гребеня через ненормальну роботу колісної пари, що викликається тими самими причинами, в результаті яких утворюється вертикальний підріз гребеня колеса. Товщина гребеня  $b$  (рис. 16) вимірюється на відстані 18 мм від вершини гребеня.

*Порушення відхилень форми та розташування поверхонь.* Це порушення може виникнути внаслідок недотримання допусків на розмір відстані між внутрішніми гранями коліс при складанні колісної пари або за наявності зігнутої осі. Такі відхилення визначаються різницею при вимірі відстані між внутрішніми гранями коліс у вільних від навантаження колісних пар у чотирьох точках, розташованих у двох взаємно перпендикулярних площинах.

*Різниця діаметрів коліс колісної пари.* Різниця діаметрів коліс однієї колісної пари з'являється при нерівномірному за профілем круговому зносі поверхні кочення через ненормальну роботу колісної пари під час руху

|    |       |         |        |      |                          |      |
|----|-------|---------|--------|------|--------------------------|------|
|    |       |         |        |      | 0031.216524.ДМР.2022.001 | Арк. |
| Зм | Аркуш | № докум | Підпис | Дата |                          | 38   |



процесі експлуатації. Далі на прикладі осі колісної пари розглядаються вимоги до дефектів (пошкоджень) в деталях колісної пари.

На даний час в Україні діють нормативні документи з експлуатації та огляду колісних пар локомотивів та нормативні документи з ремонту та технічного обслуговування колісних пар з буксовими вузлами вантажних вагонів магістральних залізниць колії 1520, у яких відображено типові дефекти осей колісних пар. У США, країнах Європи та інших закордонних країнах діють подібні класифікатори несправностей осі. Типовий класифікатор представлений у (табл. 7).

Таблиця 7 – Класифікація дефектів осі

| №п/п | Назва дефекту   | Зовнішній вигляд   |
|------|---|--|
| 1    | Зварювальні пошкодження – термомеханічне пошкодження у вигляді слідів торкання електродом або оголеним дротом поверхні осі  |   |
| 2    | Корозійні пошкодження на шийках та галтелях осі – окислені ділянки поверхонь шийок і галтель осі під впливом води та вологи, а також інших хімічно активних речовин   |  |
| 3    | Знос шийки осі через проворот внутрішнього кільця - круговий знос шийки осі під внутрішніми кільцями підшипників, викликаний втратою натягу посадки внутрішніх кілець |  |

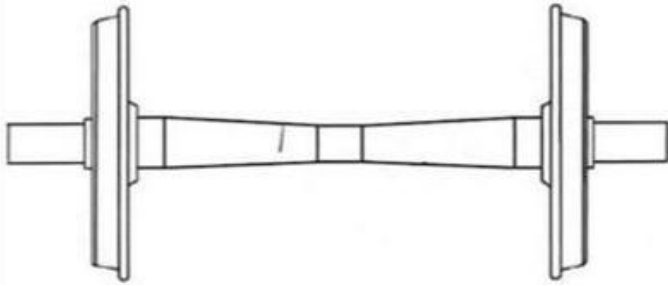
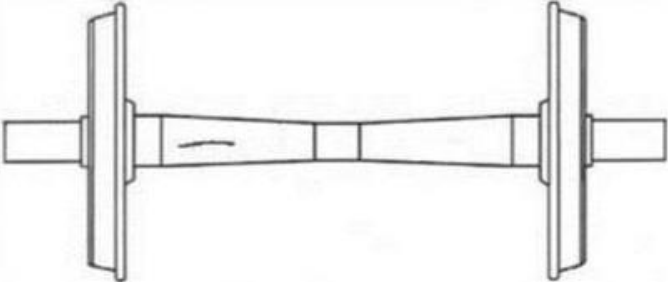


|   |   |  |
|---|---|--|
| 4 | <p>Задири на шийках та передпідступичних частинах осі:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– окружні нерівномірні за поперечним профілем зношування, що характеризуються місцевими незначними заглибленнями на поверхнях шийок або передпідступичних частинах осі;</li> <li>– поздовжні зноси (подряпини), що характеризуються незначними заглибленнями на поверхнях шийок або передпідступичних частинах осі</li> </ul> |    |
| 5 | <p>Пошкодження центрального отвору – допустиме в експлуатації спотворення форми центрального отвору осі</p>   |  |
| 6 | <p>Пошкодження різьби – механічне пошкодження, що характеризується викривленням профілю різьби</p>  |  |

|    |       |         |        |      |
|----|-------|---------|--------|------|
|    |       |         |        |      |
| Зм | Аркуш | № докум | Підпис | Дата |

0031.216524.ДМР.2022.001

Арк.

41

|    |  |  |
|----|--|--|
| 7  | <p>Поперечні та похилі тріщини на середній частині осі – порушення суцільності металу через накопичення циклічної втоми та недотримання технології виготовлення осей</p> |    |
| 8  | <p>Поздовжні та похилі тріщини на середній частині осі – порушення суцільності металу через недотримання технології виготовлення осей</p>                                |    |
| 9  | <p>Тріщини у підступичній частині осі – порушення суцільності металу у вигляді поперечних втомних тріщин</p>   |   |
| 10 | <p>Тріщини на шийках та передпідступичних частинах осі – порушення суцільності металу у вигляді втомних тріщин</p>   |  |

|    |       |         |        |      |
|----|-------|---------|--------|------|
|    |       |         |        |      |
| Зм | Аркуш | № докум | Підпис | Дата |

0031.216524.ДМР.2022.001

Арк.

42

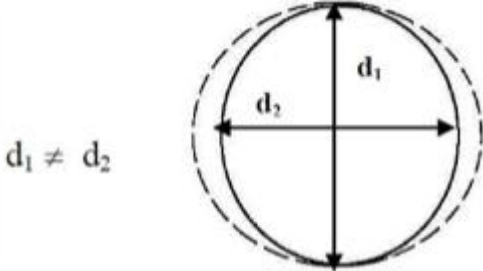
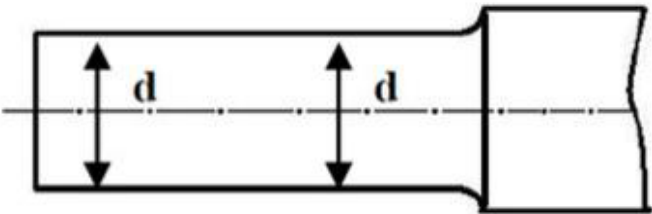

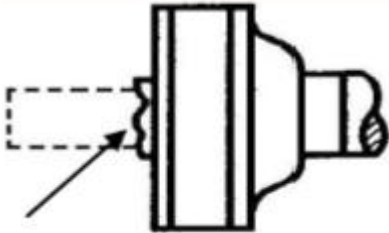
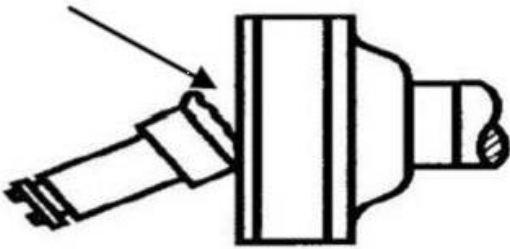

|    |  |  |
|----|--|--|
| 11 | Тріщини в галтелях шийок та передпідступичних частин осі – порушення суцільності металу у вигляді втомних тріщин   |    |
| 12 | Руйнування шару відновленої шийки осі – механічне руйнування, пов'язане з порушенням цілісності металу шийки осі   |    |
| 13 | Маломірність осі по діаметрах шийки, передпідступичної, підступичної та середньої частин – зменшення геометричних розмірів частин осі внаслідок механічної обробки |  |
| 14 | Порушення геометричних параметрів різбових отворів М20 в осях РУ1Ш – порушення технології виготовлення осі   |  |


|    |       |         |        |      |
|----|-------|---------|--------|------|
|    |       |         |        |      |
| Зм | Аркуш | № докум | Підпис | Дата |

0031.216524.ДМР.2022.001

Арк.

43

|    |  |  |
|----|--|--|
| 15 | Овальність шийки та передпідступичної частини осі більш допустимих розмірів – порушення геометрії частин осі |    |
| 16 | Конусоподібність шийки осі більш допустимих розмірів – порушення геометрії шийки осі                         |    |
| 17 | Злам осі через розвиток тріщини в шийці – руйнування осі під впливом циклічних навантажень                   |   |
| 18 | Злам осі через розвиток тріщини в передпідступичній частині – руйнування осі під дією циклічних навантажень  |  |
| 19 | Злам осі через розвиток тріщини в підступичній частині – руйнування осі під впливом циклічних навантажень    |  |
| 20 | Злам осі через розвиток тріщини в середній частині – руйнування осі під дією циклічних навантажень           |  |

|    |   |  |
|----|---|--|
| 21 | Злам шийки осі через перегрівання буксового вузла – руйнування осі внаслідок заклинювання підшипників буксового вузла |  |
|----|---|--|

## 2.4 Конструктивні та технологічні способи забезпечення міцності осей колісних пар

Забезпечення (збереження) міцності осей колісних пар здійснюють різними способами в залежності від фактору, який її знижує. Існують кілька способів:

1) застосування різних присадок, паст, лаків та покриттів для зменшення корозії та відповідно її впливу на міцність осей;

2) накочування поверхні осей колісних пар із осьової сталі для утворення на її поверхні напружень стиснення, що підвищує міцність накатаної осі в порівнянні з ненакатаною;

3) для недопущення пошкоджень поверхні осі від корозії та механічних пошкоджень і також впливу агресивних середовищ на вісь наносять захисні покриття;

4) застосування технологічних способів зміни механічних властивостей матеріалу осей, які покращують її характеристики міцності.

Осі колісних пар понад 150 років є постійним об'єктом уваги конструкторів, інженерів-проектувальників, металознавців: проводять дослідження міцності, вивчається поведінка матеріалу при динамічному навантаженні. При цьому, зрозуміло, розглядаються конструкції з високим експлуатаційним механічним навантаженням, які протягом терміну служби (порядку 30 років) витримують більше  $10^9$  циклів навантаження.

|    |       |         |        |      |                          |      |
|----|-------|---------|--------|------|--------------------------|------|
|    |       |         |        |      | 0031.216524.ДМР.2022.001 | Арк. |
| Зм | Аркуш | № докум | Підпис | Дата |                          | 45   |

Отримані результати використовують при розробці технічних правил конструювання та технічних вимог виготовлення осей.

Конструювання, розрахунки та виготовлення осей колісних пар виконують відповідно до стандартів ДСТУ ГОСТ 31373:2013 [19], ДСТУ ГОСТ 4835:2008 [3], ДСТУ ГОСТ 11018:2005 [4]. В країнах Європейського Союзу відповідно до стандартів DIN EN 13103 [20], DIN EN 13104 [21], а також зі стандартами DIN EN 13260 [22], DIN EN 13261 [23], в яких наведені вимоги до технології їх виготовлення і випробування, наводиться класифікація і розглядаються інші критерії. У (табл. 8) наведено застосовувані нормативні документи при конструюванні, виготовленні, випробуваннях і технічному обслуговуванні колісних пар.

Європейські стандарти, що поширюються на властивості матеріалів осей, стосуються тільки марок EA1N і EA4T. Нелеговані сорти сталі та леговані, їх прирівнюють до сталей, що мають позначення C35N і 25CrMo4 + QT. Однак у стандартах визначено кваліфікаційні методи, які слід застосовувати для оцінки альтернативних матеріалів та технологій. Це дає додаткові можливості, хоч і вимагає підвищених витрат.

Таблиця 8 – Перелік вітчизняних та іноземних нормативних документів

| №п/п | Об'єкти, показники | ЄС                   | Українські   | Американські  | Японські                               | Корейські      |
|------|--------------------|----------------------|--|---|--|----------------|
|      |                    | нормативні документи |  |   |  |                |
| 1    | Колісні пари       | EN 13260 [22]        | ДСТУ ГОСТ 11018:2005 [4]<br>ДСТУ ГОСТ 4835:2008 [3]<br>ДСТУ ГОСТ 31847:2016 [26] | —   | JIS E 4504 [36]                        | KS R 9218 [42] |
| 2    | Вісь               | EN 13261 [23]        | ДСТУ ГОСТ 31334:2009 [10]  | ASTM A 729 [29]<br>AAR M-101 [30]                                   | JIS E 4502-1 [37]<br>E 4502-2 [38]     | KS R 9220 [43] |
| 3    | Колеса             | EN 13262 [24]        | ДСТУ ГОСТ 10791:2016 [27]<br>ДСТУ ГОСТ 4491:2018 [28]                            | ASTM A 551 / A 551M [31]<br>ASTM A 583 [32]<br>AAR M-107/M-208 [33] | JIS E 5401-2 [39]<br>JIS E 5402-1 [40] | KS R 9221 [44] |
| 4    | Вісь               | EN 13103 [20]        | ДСТУ ГОСТ 31373:2013 [19]  | —   | JIS E 4501 [41]                        | —              |

|   |  |  |                           |                                  |   |                |
|---|--|--|---------------------------|----------------------------------|---|----------------|
|   | (розрахунки на міцність)                                 |  |                           |                                  |   |                |
| 5 | Колесо<br>(розрахунки на міцність)                       | EN 13979-1 [25]  | –                         | AAR S-660 [34]<br>AAR S-669 [35] | – | –              |
| 6 | Колісні пари<br>(випр.)                                  | –  | ДСТУ ГОСТ 31373:2013 [19] | –                                | – | KS R 9218 [45] |
| 7 | Осі та колеса колісних пар<br>(випр. на втомну міцність) | EN 13260 [22]<br>EN 13261 [23]<br>EN 13262 [24]<br>EN 13979 [25] | ДСТУ ГОСТ 31373:2013 [19] | –                                | – | –              |

Введення в 2002 р. нових європейських стандартів (далі – стандарти EN) на конструювання осей колісних пар для широкого кола фахівців означає, що для осей, насамперед моторних, відповідно до підвищення допустимого навантаження на них (вимоги зазначених стандартів) має бути збільшено діаметр порівняно зі встановленим раніше відповідно технічним правилам. Це визначається необхідністю витримувати необхідне значення коефіцієнта запасу втомної міцності  $n$ , що залежить від матеріалу і області його застосування. Так, для сталі EA1N, що використовується для осі немоторної колісної пари,  $n = 1,2$ , для тієї ж сталі в осі моторної колісної пари опорно-осьового приводу  $n = 1,5$  і в такій ж осі, проте яка не передає зусиль від тягового приводу  $n = 1,3$ . При розробці основних положень стандартів на осі моторних колісних пар слід брати до уваги не тільки підвищені значення  $n$ , але також і особливі фактори, зумовлені всіма додатковими навантаженнями, з тим, щоб дати можливість конструкторам компенсувати додаткові напруження і зробити правила конструювання достатньо надійними. Стандартами EN передбачена можливість зниження коефіцієнта запасу втомної міцності для осей моторних колісних пар (при точному визначенні навантажень на них) до значень, прийнятих для осей немоторних колісних пар. Дотримання європейських стандартів при виготовленні нового рухомого складу передбачається само собою зрозумілим.

|    |       |         |        |      |  |                          |      |
|----|-------|---------|--------|------|--|--------------------------|------|
|    |       |         |        |      |  | 0031.216524.ДМР.2022.001 | Арк. |
| Зм | Аркуш | № докум | Підпис | Дата |  |                          | 47   |

Звичайно, модернізація існуючих або розробка моторних осей створює проблеми з отриманням додаткових, що узгоджуються з європейськими стандартами вимог до їх міцності, які іноді не можуть бути представлені. Виходом із положення залишаються випробування, які показують, наприклад, що у даному випадку слід застосувати більш міцну сталь. Якщо підвищення втомної міцності, що досягається, недостатньо, залишається тільки збільшувати діаметр осі. Однак якщо, наприклад, збільшити діаметр осі в місці посадки зубчастого колеса редуктора, то це вимагатиме зміни геометрії компонентів по всьому тяговому приводі, аж до ходової частини.

Збільшення коефіцієнта запасу втомної міцності, яке встановлено європейськими стандартами [20-21] обмежує застосування високоміцних матеріалів осей колісних пар: наприклад, підвищення на 20% межі витривалості сталі EA4T у порівнянні зі сталлю EA1N призводить до підвищення допустимих напружень в зоні з'єднань натягом лише на 10 %. Отже, під час випробувань деталей на втомну міцність виникаючі в них напруження повинні бути значно вищі ніж очікувані в процесі експлуатації. Це насамперед стосується місць пресових посадок та буксових зон.

Розглянемо результати випробувань на втомну міцність, що проводилися на натурних осях та лабораторних зразках.

Дослідження проводили на осях з покращеної сталі з мінімальною межею міцності на розтяг 900 МПа. Ця сталь широко й успішно використовується для виготовлення високонавантажених осей без зміцненого поверхневого шару.

Були проведені серії різних експериментів для оцінки втомної міцності на спеціально підготовлених осях і лабораторних зразках, вирізаних з них, які згідно з DIN EN 13103/13104 застосовують для визначення залежного від матеріалу збільшення коефіцієнта запасу втомної міцності. За результатами попередніх досліджень вибрано осі, зміцнені газовим азотуванням, на яких місця пресових посадок додатково покриті шаром молібдену.

|    |       |         |        |      |                          |      |
|----|-------|---------|--------|------|--------------------------|------|
|    |       |         |        |      | 0031.216524.ДМР.2022.001 | Арк. |
| Зм | Аркуш | № докум | Підпис | Дата |                          | 48   |

У поверхні середньої частини осі структура металу має шаруватий характер. Для контролю процесу формування шарів та їх оцінки використовували металографію азотованих та нітроцементованих сталей. Дифузійний азот реагує із залізом і утворює нітриди заліза. Дифузійний шар містить азот у твердому розчині і одночасно тверді та стабільні нітриди металів, які утворені легуючими компонентами досліджуваної сталі і являють собою субмікроскопічні частинки, які неможливо розрізнити за допомогою оптичних методів спостереження.

Зі сказаного випливає, яке велике значення мають результати досліджень для відпрацювання різних технологічних операцій та забезпечення стабільно високої якості процесу в умовах серійного виробництва осей.

Дослідження опору втомної міцності на реальних (натурних) осях проводили на стенді із навантаженням круговим вигином. Необхідний для випробувань рівень напружень (з огляду на діаметр осі) перевищував можливості стенду, через що виникли складності при випробуваннях: сильно нагрівалися місця пресової посадки, через значну довжину проковзування (мікропереміщення) в зоні посадки і велику частоту навантаження. Дещо модифікувавши стендове обладнання (що не вплинуло на результати випробувань), ці проблеми вдалося вирішити. Було проведено випробування осей трьох серій з різним відношенням  $D/d$ . Випробування продовжували до руйнування осі, підвищуючи навантаження та виконуючи  $10^7$  циклів навантаження на кожному ступені.

Виявилося, що тріщини в місці посадки та на вільній поверхні з'являються тільки у випадку, коли  $D/d = 1,06$ . При більшому відношенні діаметрів вони виникають лише з переходу від місця пресової посадки до середньої частини. За результатами випробувань на віброміцність допустима напруженість у місці посадки прийнята рівною 330 МПа. Для поверхні середньої частини осі встановлено середню допустиму напруженість 440 МПа, а на нижньому ступені навантаження – 365 МПа. Останнє значення справедливе для області власне

|    |       |         |        |      |                          |      |
|----|-------|---------|--------|------|--------------------------|------|
|    |       |         |        |      | 0031.216524.ДМР.2022.001 | Арк. |
| Зм | Аркуш | № докум | Підпис | Дата |                          | 49   |

номінальних напружень. Воно відповідає мінімальному навантаженню, що не викликає пошкоджень. Обробка поверхневого шару дозволяє підвищити опір втомної міцності у місцях посадки на 53 % порівняно з її значенням для необробленої поверхні, але вкритої молібденом. На вільній поверхні (у середній частині осі) ця міцність підвищується несуттєво.

Попередньо зони переходів були досліджені з використанням методу скінченних елементів та оптимізовані за геометрією виконання. Результати, отримані для осей з мінімальною концентрацією напружень, не були несподіваними і відповідали наведеним в інших джерелах. У разі несприятливого виконання переходів є великі можливості їх покращення.

На наступному етапі використовували зразки з надрізом відповідно до рекомендацій, а також з надрізами DIN EN 13103/13104, які мають іншу геометрію. Діаметр зразків становив 10 мм, рекомендований надріз мав V-подібну форму, глибину 0,1 мм та радіус заокруглення 0,04 мм. Надріз за європейським стандартом EN також має мати V-подібну форму, але глибина його становить 0,5 мм, а радіус заокруглення дорівнює 0,1 мм.

Результати випробувань гладких зразків з обробленою поверхнею показали відносно невелике підвищення втомної міцності при вигині - близько 10%. При рекомендованих надрізах та DIN EN 13103/13104 спостерігалось значне підвищення значення межі витривалості порівняно зі зразками з необробленою поверхнею.

Таким чином, результати досліджень та експериментів дозволяють констатувати, що завдяки гарантованій обробці поверхневого шару осі поставлена мета – підвищення межі витривалості в місці пресової посадки та допустимих напружень в деталі - не тільки досягнута, а й перевищена (зазначені параметри зросли приблизно на 25%). До вільних поверхонь осі це не стосується. Їхній захист неможливий без конструкторських заходів.

|    |       |         |        |      |                          |      |
|----|-------|---------|--------|------|--------------------------|------|
|    |       |         |        |      | 0031.216524.ДМР.2022.001 | Арк. |
| Зм | Аркуш | № докум | Підпис | Дата |                          | 50   |

## 2.5 Способи зниження ймовірності пошкодження осей колісних пар в експлуатації

В експлуатації звичайного рухомого складу відсоток пошкодження осей колісних пар незначний. Це пояснюється головним чином невисокими швидкостями руху та налагодженим порядком дотримання технології виготовлення та ремонту, а також наявністю організованої мережі пунктів проведення візуального та інструментального контролю найбільш відповідальних деталей та вузлів.

Інакше справа з високошвидкісним рухомим складом. Проте, проблеми пошкодження осей фракціями баласту колії, що піднімаються потоками повітря під час руху високошвидкісного рухомого складу, є відомими. В Європі подібні проблеми були і є певні шляхи їх вирішення, описані в Європейських стандартах EN 13261. У процесі експлуатації в зимовий період часу, коли щільність повітря найбільша при високих швидкостях руху, стало спостерігатися пошкодження захисного покриття осей. Тобто захисні покриття осей, що створюються та випробовуються за Європейськими нормами, не здатні виконувати свої прямі функції через кліматичні та технічні умови.

Зниження ймовірності пошкодження осей колісних пар в експлуатації можна здійснити декількома способами:

1) проведенням комплексу заходів щодо недопущення підйому щебеню із призми баласту колії. Це може бути реалізовано шляхом проведення досліджень масово-габаритних показників щебеню, що піднімається потоками повітря та внесення змін до нормативних документів для унеможливлення попадання щебеню з певними масово-габаритними показниками на колію;

2) застосування спеціальних з'єднувальних (склеюючих) розчинів для утримання щебеню на призмі баласту колії;

3) застосування захисного покриття осей колісних пар;

4) проведенням періодичної дефектоскопії методами неруйнівного контролю з метою своєчасного вилучення пошкоджених колісних пар.

|    |       |         |        |      |                          |      |
|----|-------|---------|--------|------|--------------------------|------|
|    |       |         |        |      | 0031.216524.ДМР.2022.001 | Арк. |
| Зм | Аркуш | № докум | Підпис | Дата |                          | 51   |

Варто зазначити, що з перерахованих методів найбільш перспективним і економічно доцільним є проведення періодичного неруйнівного контролю.

### **Висновки до розділу 2**

- досліджено комплексний підхід до механізму зношування залізничних коліс, що представляє сукупність механічних, теплофізичних та хімічних явищ;
- розглянуто характеристики дефектів, причини їх виникнення та граничні норми відповідно до яких може відбутись перехід колісної пари з стравного працездатного стану до несправного;
- наведено класифікатор дефектів осі колісної пари, який діє у США та інших країнах Європи;
- розглянуто та проведено порівняння відчизняних стандартів та стандартів країн Європейського Союзу щодо конструювання, виготовлення, випробування і технічного обслуговування колісних пар.

|    |       |         |        |      |                          |      |
|----|-------|---------|--------|------|--------------------------|------|
|    |       |         |        |      | 0031.216524.ДМР.2022.001 | Арк. |
| Зм | Аркуш | № докум | Підпис | Дата |                          | 52   |

## РОЗДІЛ III. ДОСЛІДЖЕННЯ ВІТЧИЗНЯНИХ СПОСОБІВ КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ КОЛІСНИХ ПАР

### 3.1 Види та об'єм технічних оглядів та ремонту колісних пар

Колісні пари під час своєї експлуатації, окрім оглядів під РС повинні піддаватися звичайному та повному огляду.

Огляд колісних пар під РС повинні проводити:

- машиніст – при кожному прийманні РС, в експлуатації при зупинках локомотивів на станціях та пунктах обороту;
- майстер – при технічному обслуговуванні ТО-3 РС;
- майстер або бригадир – при технічному обслуговуванні ТО-2;
- майстер або приймальник локомотивів – при технічному обслуговуванні ТО-4, ТО-5, поточних ремонтах ТР-1 та ТР-2, а також при першому підкочуванні нових колісних пар.

При огляді колісних пар перевіряють:

– на бандажах відсутність тріщин, повзунів (вибоїн), раковин, граничного прокату або зносу, роздавленості, вм'ятин, відколів, ослаблення бандажів на ободі центру, зсув бандажа (за контрольними мітками на бандажі), вищербин, вертикальний підріз гребеня (перевіряють шаблонами) і гострогокінцевого накату, що є ознакою можливості небезпечної форми гребеня.

- на колісних центрах відсутність тріщин;
- на відкритих частинах осей відсутність тріщин, потертих місць, електроопіків та інших дефектів.

Звичайний огляд колісних пар проводиться у всіх випадках підкочування їх під РС у депо.

При звичайному огляді колісних пар слід виконувати всі перевірки, передбачені оглядом колісних пар РС. Додатково проводиться:

- очищення від бруду та масла або обмивка в мийній машині;
- перевірка встановлених тавр та знаків;

|    |       |         |        |      |                          |      |
|----|-------|---------|--------|------|--------------------------|------|
|    |       |         |        |      | 0031.216524.ДМР.2022.001 | Арк. |
| Зм | Аркуш | № докум | Підпис | Дата |                          | 53   |

– перевірка магнітним дефектоскопом відкритих частин осей та зубів зубчастих коліс;

– перевірка відповідності розмірів всіх елементів колісної пари встановленим нормам допусків та зносів;

– фарбування відкритих місць осі.

Повний огляд колісних пар проводиться:

– при ремонтах на заводах та в депо, що виконують ремонт колісних пар РС зі зміною хоча б одного елемента;

– при неясності тавр та знаків останнього повного огляду;

– за наявності пошкоджень колісної пари після аварії, зіткнення або сходу з рейок, а також при будь-яких видимих пошкодженнях, виявлених при зовнішньому огляді, крім відхилень, виявлених на профілі бандажу, які можуть бути усунені обточуванням.

При повному огляді колісних пар повинні проводитися всі роботи, передбачені для звичайного огляду та додатково:

– заміна забракованих елементів;

– очищення колісної пари від фарби;

– перевірка ультразвуковим дефектоскопом підступичної частини осі колісної пари;

– постановка на лівому торці осі клейм та знаків повного огляду колісних пар.

### **3.2 Вимірювальний інструмент, дефектоскопія елементів колісних пар**

При вимірюванні параметрів колісної пари застосовують різні засоби вимірювання: універсальний шаблон, міжбандажний штангенциркуль, товщиномір та різні дефектоскопи (табл. 9).

Універсальний шаблон (рис. 17) призначений для вимірювання та контролю наступних геометричних параметрів поверхні кочення бандажів колісних пар ТРС: товщини гребеня, параметра крутизни гребеня (виявлення

|    |       |         |        |      |                          |      |
|----|-------|---------|--------|------|--------------------------|------|
|    |       |         |        |      | 0031.216524.ДМР.2022.001 | Арк. |
| Зм | Аркуш | № докум | Підпис | Дата |                          | 54   |

небезпечної форми гребеня), висоти гребеня.

Шаблон являє собою збірний металевий каркас із системою рамок із затискачами та вимірювальними лінійками. Кількість лінійок визначається числом контрольованих параметрів і дорівнює трьом.

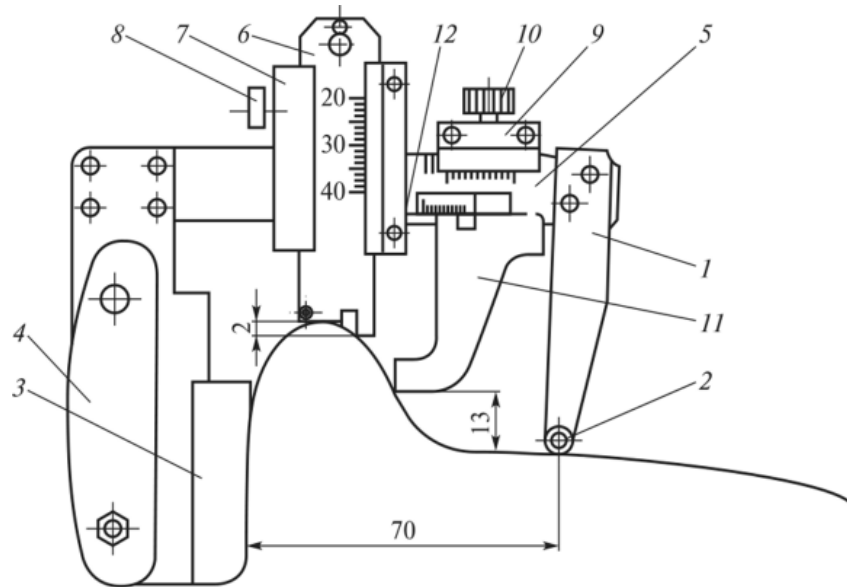


Рисунок 17 – Універсальний шаблон контролю параметрів  
поверхні кочення колісних пар:

- 1 – вертикальна опора; 2 – додаткова опора; 3 – постійний магніт;  
4 – пластмасова ручка; 5 – горизонтальна штанга; 6 – лінійка; 7, 9 – рамка;  
8, 10 – затискаючі гвинти; 11 – вимірювальна ніжка; 12 – лінійка для  
вимірювання кривизни гребеня

П-подібний, жорсткий корпус каркаса має дві вертикальні опори. Одна опора 1 жорстко закріплена з відривом 70 мм від внутрішньої грані бандажа і встановлюється на колі кочення. Інша опора з постійним магнітом 3 та пластмасовою ручкою 4 призначена для контактування з внутрішньою гранню бандажа колеса. Обидві вертикальні опори з'єднані між собою горизонтальною штангою – лінійкою 5. На штанзі 5 розміщені вертикальна лінійка 6, що переміщається в рамці 7 і фіксована гвинтом 8 і рамка 9 з затискним гвинтом 10, з вимірювальною ніжкою 11, яка на 13 мм коротша опори 1. Рамка 7 спільно із закріпленою на ній горизонтальною лінійкою 12 має можливість горизонтального переміщення по штанзі 5 із фіксацією на ній за

|    |       |         |        |      |
|----|-------|---------|--------|------|
|    |       |         |        |      |
| Зм | Аркуш | № докум | Підпис | Дата |

0031.216524.ДМР.2022.001

Арк.

55

допомогою затискного гвинта, розташованого з тильного боку шаблону.

На нижньому кінці лінійки 6 виконані вертикальний паз та двоміліметровий виступ, яким забезпечується друга точка контакту торця лінійки з гребенем контрольованого колеса. Паз призначений для розміщення на ньому гострого накату гребеня колеса (за його наявності). Градування шкали лінійки 6 показує висоту гребеня.

Усі лінійки у межах діапазону містять шкали, відградувані у міліметрах.

На шкалі параметра нанесено додаткову риску на позначці 6,5 мм – гранично допустиме значення параметра.

При підготовці шаблону до вимірів вигвинчують гвинти 8 і 10, потім відводять рамку 9 з вимірювальною ніжкою 11 вправо, відводять рамку 7 також вправо, піднімають лінійку 6 вгору. Шаблон встановлюють на контрольоване колесо його радіальної площини так, щоб вертикальна опора 1 встановилась на поверхню кочення, а постійний магніт 3 щільно прилягав до внутрішньої грані обода.

Зміщуючи лінійку 6 по вертикалі вниз до зіткнення її торця з вершиною гребеня і зсуваючи рамку 7 по горизонталі вліво до упору двоміліметрового виступу лінійки з поверхнею гребеня, фіксують положення лінійки 6 і рамки 7 гвинтами 8 і 13. Переміщують рамку 9 по горизонтальній штанзі 5 вліво до упору вимірювальної ніжки 11 поверхні гребеня колеса і фіксують рамку гвинтом 10.

Знявши шаблон з колеса, зчитують показання за трьома контрольованими параметрами: на вертикальній шкалі – висота гребеня, на шкалі горизонтальної штанги-лінійки – товщина гребеня, на лінійці – параметр крутизни гребеня.

Для підвищення стійкості при спиранні шаблону на коло кочення вертикальний упор має додаткову опору 2, яка збільшує ширину дотику до 12 мм.

Міжбандажний штангенциркуль (рис. 18) дозволяє вимірювати відстань між внутрішніми гранями бандажів колісної пари.

Товщиномір дозволяє вимірювати товщину бандажу. Для вимірювання вертикального підрізу гребеня бандажа, який не повинен бути більшим 18 мм, застосовують спеціальний шаблон.

|    |       |         |        |      |                          |      |
|----|-------|---------|--------|------|--------------------------|------|
|    |       |         |        |      | 0031.216524.ДМР.2022.001 | Арк. |
| Зм | Аркуш | № докум | Підпис | Дата |                          | 56   |

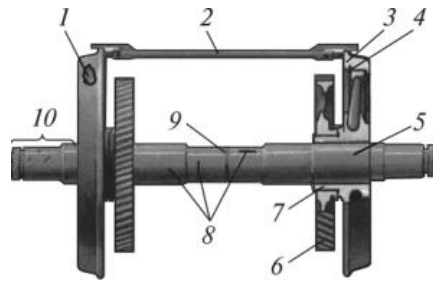
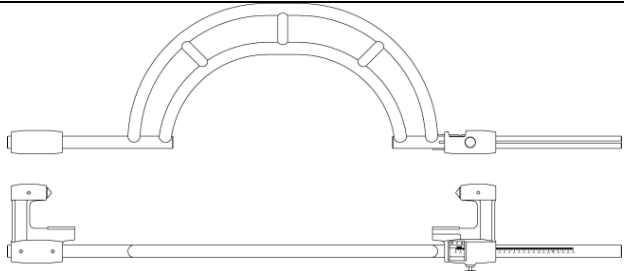
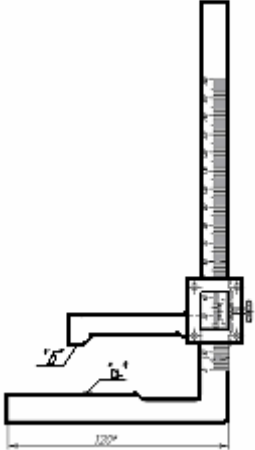
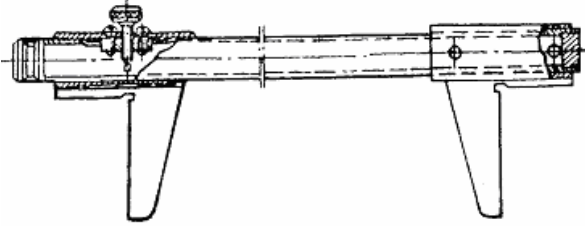
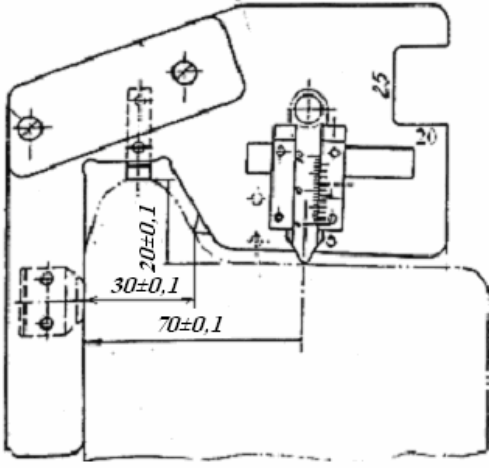


Рисунок 18 – Вимірювання міжбандажної відстані штангенциркулем та його можливі несправності: 1 – вибоїна (повзун); 2 – штангенциркуль; 3 – бандаж; 4 – бандажне кільце; 5 – вісь; 6 – зубчасте колесо; 7 – маточина; 8 – тріщини на осі колісної пари; 9 – протерте місце; 10 – риски, задири, вибоїни

За відсутності зазору між бракувальною гранню шаблону та гребенем бандажа колісна пара бракується.

Таблиця 9 – Засоби вимірювання для контролю параметрів колісних пар локомотивів

| № | Позначення, найменування, маса                                | Ескіз виробу | Призначення   |
|---|---|--------------|---|
| 1 | Бандажний штангенциркуль 650-1150мм ІМ-01-01-60 $m = 6,43$ кг |              | Для вимірювання діаметра коліс по колу кочення під час ремонту колісних пар |
| 2 | Бандажний штангенциркуль 1100-1600мм ІМ-01-02-60 $m = 8,2$ кг |              | Для вимірювання діаметра коліс по колу кочення під час ремонту колісних пар |
| 3 | Бандажний штангенциркуль 1100-2000мм ІМ-01-03-60              |              | Для вимірювання діаметра коліс по колу кочення під час ремонту колісних пар |

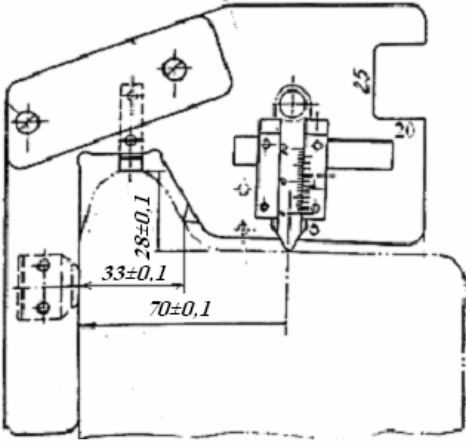
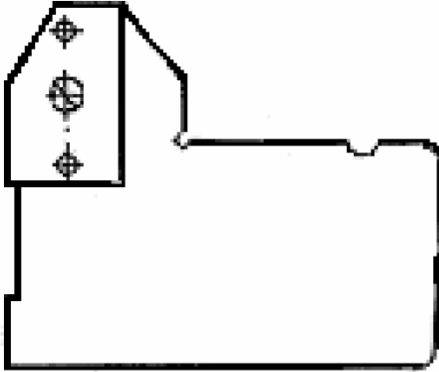
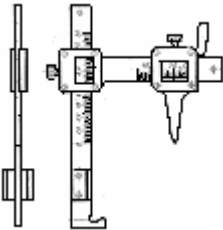
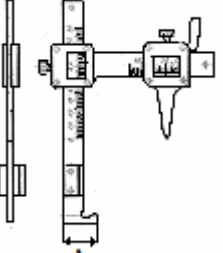
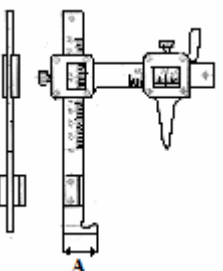
|   |  |  |   |
|---|--|--|---|
| 4 | <p>СкобаДК<br/>950-1270мм<br/>Т447.01.000<br/><math>m = 5,04</math> кг</p> |    | <p>Для вимірювання діаметра коліс по колу кочення під час ремонту колісних пар</p>  |
| 5 | <p>Штангенциркуль для вимірювання ширини бандажів І475.01.00</p>           |    | <p>Для вимірювання ширини бандажів</p>  |
| 6 | <p>Міжбандажний штангенциркуль ІМ-01-04-60</p>                             |   | <p>Для вимірювання міжбандажної відстані</p>  |
| 7 | <p>Шаблон абсолютний локомотивний МЛІ 00.93.000 СБ (І433.01.00)</p>        |  | <p>Для вимірювання величини прокату, навару, повзуна колеса та товщини гребеня при ремонті та огляді колісних пар локомотивів</p> |

|    |       |         |        |      |
|----|-------|---------|--------|------|
| Зм | Аркуш | № докум | Підпис | Дата |
|----|-------|---------|--------|------|

0031.216524.ДМР.2022.001

Арк.

58

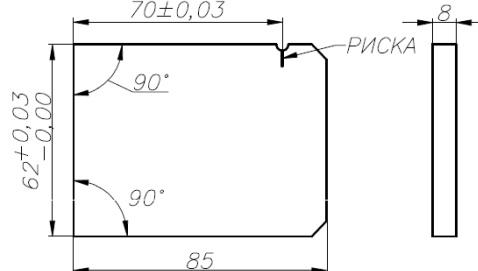
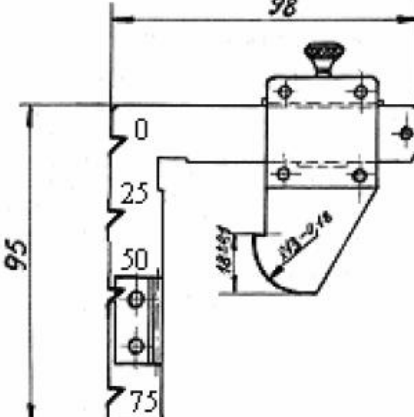
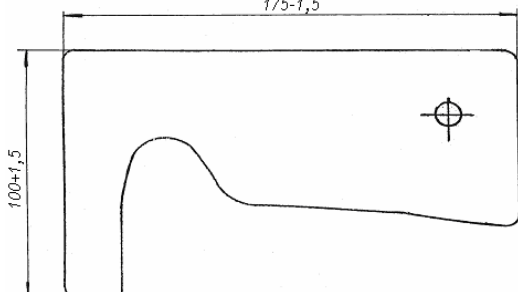
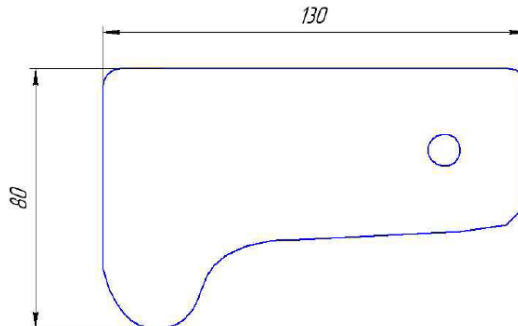
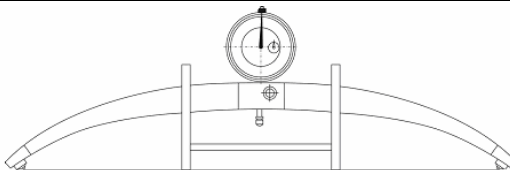
|    |  |   |  |
|----|--|---|--|
| 8  | Шаблон абсолютний локомотивний МЛ 00.93.000-01СБ (І433.01.00-01)                           |   | Для вимірювання величини прокату, навару, повзуна колеса та товщини гребеня при ремонті та огляді колісних пар локомотивів |
| 9  | Контршаблон абсолютного локомотивного шаблону МЛ 00.98.000 МЛ 00.98.000-01 МЛ 00.98.000-02 |   | Для контролю шаблону МЛ00.93.000 Для контролю шаблону МЛ00.93.000-01 Для контролю шаблону МЛ 00.97.000                     |
| 10 | Товщиномір локомотивний МЛ 00.94.000 СБ (І372.01.00) $m = 0,37$ кг                         |   | Для вимірювання товщини та місцевого розширення бандажу (обандажене колесо)  |
| 11 | Товщиномір локомотивний МЛ 00.94.000-01 СБ (І372.01.00-01) $A=23$ мм $m = 0,37$ кг         |  | Для вимірювання товщини обода суцільнокатанних коліс   |
| 12 | Товщиномір локомотивний МЛ 00.94.000-02 СБ (І372.01.00-02) $A=19,5$ мм $m = 0,37$ кг       |  | Для вимірювання товщини та місцевого розширення бандажу (тендерні бандажі коліс колії 750 мм)                              |

|    |       |         |        |      |
|----|-------|---------|--------|------|
| Зм | Аркуш | № докум | Підпис | Дата |
|----|-------|---------|--------|------|

0031.216524.ДМР.2022.001

Арк.

59

|    |  |  |   |
|----|--|--|---|
| 13 | Контршаблон товщиноміру локомотивного МЛ 00.94.001 $m = 0,22$ кг   |    | Для контролю товщиномірів   |
| 14 | Шаблон ВПГ локомотивний І 536.00.00 СБ $m = 0,19$ кг   |    | Для вимірювання підрізу гребеня   |
| 15 | Шаблон робочий максимальний локомотивний (РШ-001, РШ-002, РШ-003, РШ-004, РШ-005)                                |   | Для перевірки профілю бандажа колісної пари локомотива (будь-який профіль)      |
| 16 | Контршаблон робочого максимального локомотивного шаблону (РШ-001-01, РШ-002-01, РШ-003-01, РШ-004-01, РШ-005-01) |  | Для перевірки контрольних розмірів шаблону робочого максимального локомотивного |
| 17 | Скоба вимірювальна з індикацією МЛ 00.95.000 (І 461.00.00)   |  | Скоба вимірювальна з індикацією МЛ 00.95.000 (І 461.00.00)                      |

Крім того, застосовуються такі вимірювальні та перевірочні інструменти:

– для електровозів ЧС2, ЧС2Т, ЧС4, ЧС4Т шаблони для вимірювання локомотивних бандажів з маломірними та підрізними гребенями;

– для цих типів електровозів шаблон і контршаблон для локомотивних бандажів з підрізаним на 10 мм гребенем;

– для всіх типів колісних пар товщиномір для вимірювання товщини та місцевого розширення бандажа та обода суцільнокатаного колеса зі шкалою до 100 мм;

– для моторвагонного рухомого складу максимальний шаблон та контршаблон для перевірки профілю гребеня та поверхні кочення;

– шаблони для вимірювання канавки у бандажах електровозів та електропоїздів;

– шаблон на фаску бандажа;

– шаблон для перевірки профілю обода колісних центрів;

– шаблон на профіль бандажного кільця;

– скоби для вимірювання бандажів колісних пар при обточуванні без викочування;

– довгомір для вимірювання відстані від середини осі до бандажа колісної пари;

– шаблон для вимірювання ширини бандажів;

– шаблон на 1/2 довжини осі;

– шаблон на кінець осі;

– шаблон на довжину шийки осі;

– шаблон на базу осі;

– шаблон на паз осі;

– шаблон на галтелі осі;

– шаблон центрових отворів осі.

Під час ремонту РС застосовують візуальний, магнітопорошковий, ультразвуковий та вихрострумний методи дефектоскопії.

Найбільш простим методом дефектоскопії є візуальний – неозброєним оком або за допомогою оптичних приладів (наприклад, лупи). Візуальна дефектоскопія дозволяє виявляти лише поверхневі дефекти (тріщини та ін.) в

|    |       |         |        |      |                          |      |
|----|-------|---------|--------|------|--------------------------|------|
|    |       |         |        |      | 0031.216524.ДМР.2022.001 | Арк. |
| Зм | Аркуш | № докум | Підпис | Дата |                          | 61   |

елементах колісних пар. Мінімальний розмір дефектів, які виявляються неозброєним оком, становить 0,1-0,2 мм, а при використанні оптичних систем - десятки мкм.

*Магнітопорошковий метод* дефектоскопії заснований на притягненні частинок магнітного (залізного) порошку в місцях виходу на поверхню контрольованого об'єкта магнітного потоку, пов'язаного з наявністю порушень суцільності. Силкові лінії магнітного поля, протікаючи через феромагнітні об'єкти, спотворюються у випадку наявності дефекту та прагнуть обігнути його.

Відбувається спучування магнітних силових ліній, створюється поле магнітного розсіювання. Це відбувається внаслідок неоднорідності магнітного поля, оскільки будь-який дефект призводить до погіршення магнітної проникності даної ділянки об'єкта, протидіючи магнітному потоку. За наявності дефекту на поверхні об'єкта силкові лінії утворюють місцеві магнітні поля розсіювання і створюються локальні магнітні полюси відповідно до позитивного і негативного знаків, визначаючи таким чином місце розташування дефекту.

Проходження силових ліній через тріщину характеризується видом поздовжньої та перпендикулярної складових напруженості магнітного поля в області тріщини.

*Ультразвуковий метод* дефектоскопії ґрунтується на використанні пружних коливань, головним чином ультразвукового діапазону частот. Порушення суцільності чи однорідності середовища впливають на поширення пружних хвиль у деталі або режим коливань деталі. Основні методи: ехометод, тіньовий, резонансний, велосиметричний (ультразвукові методи), метод вільних коливань (акустичний метод).

Найбільш універсальний ехометод заснований на надсиланні у деталь коротких імпульсів ультразвукових коливань та реєстрації інтенсивності та часу приходу ехосигналів, відбитих від дефектів. Для контролю деталі датчик еходефектоскопа сканує поверхню. Метод дозволяє виявляти поверхневі та глибинні дефекти з різним орієнтуванням. Створено промислові установки

|    |       |         |        |      |                          |      |
|----|-------|---------|--------|------|--------------------------|------|
|    |       |         |        |      | 0031.216524.ДМР.2022.001 | Арк. |
| Зм | Аркуш | № докум | Підпис | Дата |                          | 62   |

контролю різних деталей. Ехо-сигнали можна спостерігати на екрані осцилоскопа або реєструвати приладом, що самозаписує. В останньому випадку підвищуються надійність, об'єктивність оцінки, продуктивність та відтворюваність контролю. Чутливість ехометоду дуже висока: в оптимальних умовах контролю на частоті 2-4 МГц можна виявляти дефекти, поверхня яких відображає площу близько 1 мм<sup>2</sup>.

При тіньовому методі ультразвукові коливання, зустрівши на своєму шляху дефект, відбиваються у зворотньому напрямку. Про наявність дефекту судять щодо зменшення енергії ультразвукових коливань або зміни фази ультразвукових коливань, що обходять дефект. Метод широко застосовують для контролю зварних швів, рейок та інших.

Резонансний метод заснований на визначенні власних резонансних частот пружних коливань (частотою 1-10 МГц) при збурюванні їх у деталі. Цим методом вимірюють товщину стінок металевих та деяких неметалевих виробів. При можливості виміру з одного боку точність виміру близько 1%. Крім того, цим методом можна виявляти зони корозійного ураження. Резонансними дефектоскопами здійснюють контроль ручним способом та автоматизованим із записом показань приладу.

Велосиметричний метод еходфектоскопії заснований на вимірюванні зміни швидкості поширення пружних хвиль у зоні розташування дефектів у багатошарових конструкціях. Він використовується для виявлення зон порушення зчеплення між шарами металу.

Метод вільних коливань ґрунтується на аналізі спектру вільних коливань контрольованої деталі, яка отримала збурення ударом. Він застосовується для виявлення зон порушення з'єднань між елементами багатошарових конструкціях значної товщини з металевих і неметалічних матеріалів.

Ультразвуковий метод дефектоскопії використовує кілька змінних параметрів (частотний діапазон, типи хвиль, режими випромінювання, способи здійснення контакту та ін) і є одним з найбільш універсальних методів

|    |       |         |        |      |                          |      |
|----|-------|---------|--------|------|--------------------------|------|
|    |       |         |        |      | 0031.216524.ДМР.2022.001 | Арк. |
| Зм | Аркуш | № докум | Підпис | Дата |                          | 63   |

контролю, який не призводить до руйнування деталі.

Дефектоскопія – невід’ємна ланка технологічних процесів, що дозволяє підвищити надійність деталей, що ремонтуються. Проте методи дефектоскопії є абсолютними, оскільки на результати контролю впливає безліч випадкових чинників. Про відсутність дефектів у деталі можна говорити лише з тим чи іншим ступенем ймовірності. Надійності контролю сприяє його автоматизація, вдосконалення методик, і навіть раціональне поєднання кількох методів.

Застосування дефектоскопії в процесі виробництва та експлуатації колісних пар дає великий економічний ефект за рахунок скорочення часу, що витрачається на обробку заготовок з внутрішніми дефектами, економії металу та ін.

### **Висновки до розділу 3**

- розглянуто основні види та об’єм технічних оглядів та ремонту колісних пар, внаслідок їх експлуатації рейковою колією;
- наведено основні засоби вимірювання параметрів колісних пар локомотивів, а саме діаметра коліс по колу кочення, ширини бандажів, міжбандажної відстані, прокату, навару, повзуна, товщини гребеня та його підрізу;
- показано важливість застосування дефектоскопії в процесі виробництва та експлуатації колісних пар.

|    |       |         |        |      |                          |      |
|----|-------|---------|--------|------|--------------------------|------|
|    |       |         |        |      | 0031.216524.ДМР.2022.001 | Арк. |
|    |       |         |        |      |                          | 64   |
| Зм | Аркуш | № докум | Підпис | Дата |                          |      |

## РОЗДІЛ ІV. ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ СУЧАСНИХ СИСТЕМ КОНТРОЛЮ КОЛІСНИХ ПАР ПІД ЧАС ЇХ РУХУ

### 4.1 Дослідження роботи сучасних систем контролю колісних пар

Зростання об'єму перевезень, підвищення швидкості руху та тоннажу поїздів змушують звертати все більшу увагу на оперативний контроль стану відповідальних частин рухомого складу. Вирішення цього завдання може бути досягнуто, зокрема, шляхом створення ряду вимірювальних пристроїв, що розташовуються на залізничній колії та поблизу неї, а також здатних виконувати вимірювання безконтактним способом, безпосередньо під час руху поїзда.

Системи дистанційного моніторингу є найважливішими серед технічних засобів контролю стану рухомого складу та інфраструктури. Їх удосконаленню та розвитку приділяється пильна увага з боку розробників, виробничих компаній та залізниць у багатьох країнах світу. Це дає можливість прогнозувати появу та подальший розвиток дефектів ходової частини та елементів інфраструктури, а також наслідки для перевізного процесу та його технічного обслуговування.

Порівняно недавно на залізницях ряду країн стали впроваджуватись системи контролю параметрів колісних пар рухомого складу під час його руху, що працюють на принципі безконтактного оптичного вимірювання. Ці системи дозволяють виявляти дефекти колеса задовго до того, як можуть стати причиною аварії. З їх допомогою можна вимірювати в динаміці такі параметри колеса, як діаметр, висота і товщина гребеня, ширина поверхні кочення, що зношується, товщина обода.

У (табл. 10) наведено технічні характеристики декількох систем безконтактного оптичного контролю параметрів колісних пар. Основними функціональними елементами даних систем, що використовують триангуляційний принцип для вимірювання відстаней до відповідних ділянок поверхні колеса, є:

– джерело випромінювання - лазерний діод, що працює, як правило, у

|    |       |         |        |      |                          |      |
|----|-------|---------|--------|------|--------------------------|------|
|    |       |         |        |      | 0031.216524.ДМР.2022.001 | Арк. |
| Зм | Аркуш | № докум | Підпис | Дата |                          | 65   |





Кожен вимірювальний модуль включає джерело зондувального випромінювання (лазер) і фотоприймач, що реєструє відбите від поверхні колеса випромінювання. Для того щоб лазерний промінь потрапляв на поверхню, що розглядається, лазер і фотоприймач розташовують під певними кутами відносно один одного.

З (рис. 19) видно, що освітлюється зовнішня поверхня колеса 1. Лазери 4 і 5 проєктують сукупність променів 6 і 7, що висвітлюють частину колісного центру 8, зовнішню поверхню обода 9, поверхню кочення 10 і гребінь 11, причому промені орієнтовані таким чином, що центральний промінь перетинає обід колеса в радіальному напрямку, а лінії 12 і 13 представляють граничні траєкторії променів. Відбиті промені реєструються фотоприймачами 14 і 15.

Початок вимірювального циклу ініціюється сигналами, що надходять з датчиків положення колеса, які фіксують його появу в зоні вимірювань. Сигнали з виходів фотоприймачів надходять на спеціальний пристрій, що захоплює кадр і перетворює його на цифрову форму, і далі подаються в процесор, де проводиться остаточна обробка результатів і розрахунок необхідних параметрів колеса.

Інший принцип побудови систем контролю параметрів колісних пар, заснований на опроміненні поверхні кочення колеса лазером, площина променя якого перпендикулярна до цієї поверхні, реалізований у таких вимірювальних системах, як Argus (HegenscheidtMFD, Німеччина) та EVA (Talگو Group, Іспанія). Лазер у цьому випадку розташовується нижче рівня головки рейки (рис. 20).

Як видно з (рис. 20), плоский V-подібний промінь лазера перетинає профіль колеса, а відбитий промінь, що відповідає лінії перетину, реєструється цифровою фотокамерою. З виходу фотокамери сигнал надходить до комп'ютера, де здійснюється обробка зображення з метою усунення спотворень та виконується розрахунок параметрів профілю.

Для вимірювання діаметра колеса використовуються два лазери з V-подібним променем, що розходиться в одній площині, розміщені нижче рівня головки рейки. Точність вимірювання параметрів колеса під час використання

|    |       |         |        |      |                          |      |
|----|-------|---------|--------|------|--------------------------|------|
|    |       |         |        |      | 0031.216524.ДМР.2022.001 | Арк. |
| Зм | Аркуш | № докум | Підпис | Дата |                          | 68   |

системи Argus становить 0,2 мм.

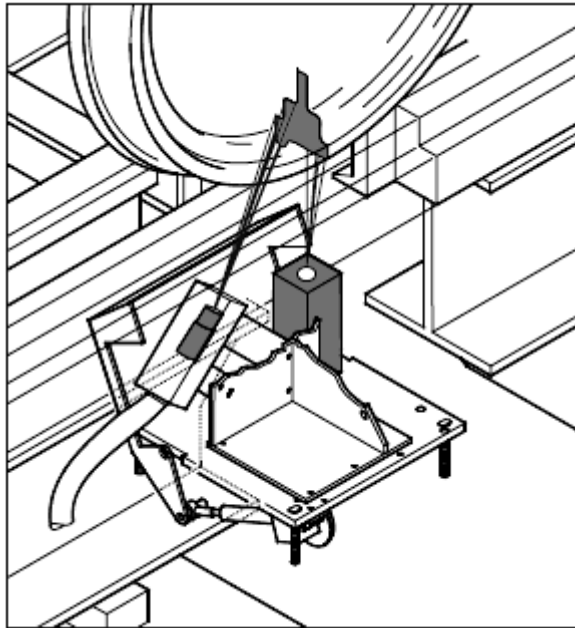


Рисунок 20 – Схема вимірювання профілю колеса за допомогою системи Argus

Проведення вимірювань на високошвидкісних магістралях багато в чому лімітується параметрами камер, що використовуються. Поява нового покоління цифрових камер, таких, як випускається компанією Kodak ПЗС-матриця КАІ-0340DM зі швидкістю реєстрації до 3500 кадр/с, дозволить здійснити моніторинг колеса при швидкості рухомого складу понад 100 км/год. Компанія Proximaat повідомила про проведення вимірювань при швидкості руху до 100 км/год за рахунок використання у системі GeoTech камери з високою швидкістю реєстрації (до 500 кадр/с). Для підвищення точності вимірювань знімається інформація про положення восьми точок поверхні колеса. В результаті, при різних кутових положеннях колеса вимірюються вісім значень його діаметра.

У системах контролю параметрів колісних пар дедалі більшого поширення для обробки інформації знаходять нейронні мережі, які дозволяють підвищити чутливість системи. Так, у системі Wheel Scan процесор віддаленого комп'ютера, використовуючи алгоритм розрахунку, заснований на застосуванні штучної нейронної мережі, здійснює остаточну обробку даних та обчислення вимірних параметрів колісної пари.

Сучасною тенденцією організації систем моніторингу колісних пар є інтегрування у межах єдиного комплексу функцій кількох модулів, щоб забезпечити отримання повної інформації про параметри колісної пари (рис. 21). Прикладом цього може бути комплексна система WISE. Крім пристроїв вимірювання профілю та діаметра колеса, ця система включає модулі визначення дефектів колеса та вимірювання його прокату та овальності.

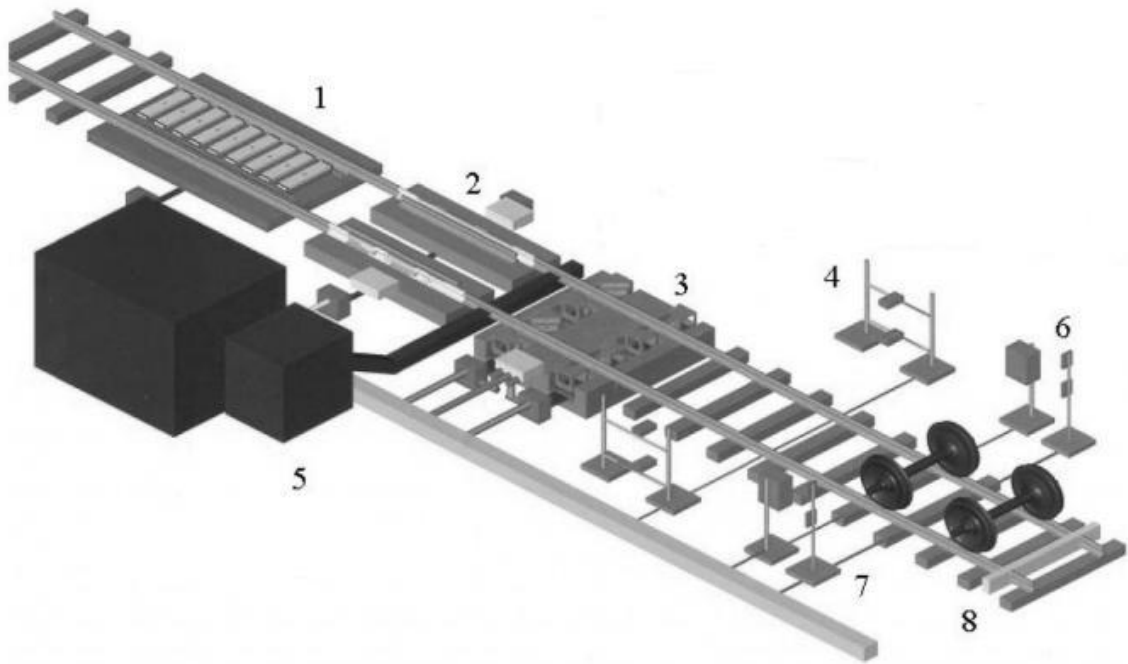


Рисунок 21 – Комплексна система контролю колісних пар WISE

1 – модуль вимірювання прокату та овальності; 2 – модуль визначення дефектів колеса; 3 – модуль WIS для вимірювання профілю та діаметра колеса; 4 – датчик положення складу; 5 – приміщення (бокс) для встановлення контрольно-вимірювальної апаратури; 6 – модуль автоматичної ідентифікації рухомого складу; 7 – канал для прокладання кабелів та волоконно-оптичних світлодіодів; 8 – датчик наявності сторонніх предметів

Принцип дії модуля визначення дефектів ґрунтується на використанні електромагнітно-акустичних (ЕМА) перетворювачів. Перший датчик генерує хвилю, що розповсюджується в поверхневому шарі колеса і обтікає його по колу, при цьому параметри хвилі вибираються з урахуванням глибини її

проникнення в колесо та чутливості до дефектів. Відбитий від дефекту сигнал приймається другим датчиком. Метод за своєю суттю є безконтактним та на відміну від традиційного ультразвукового контролю не вимагає використання узгоджувальних матеріалів. Розмір зумовлених дефектів:

- глибина - не менше 0,25 мм;
- Протяжність - не менше 6,35 мм.

Час моніторингу одного колеса становить 4 мс.

Похибка вимірювання овальності колеса становить не більше 0,1 мм. Весь комплекс вимірювань проводиться при швидкості рухомого складу 8 км/год.

Цікавим є інноваційний комплекс зовнішнього моніторингу WCM (Wheel Condition Monitor), який призначений для вимірювання з високою точністю сил, що виникають у плямі контакту колеса з рейкою. Він є гібридною системою, що використовує уявлення про стан 100% поверхні кочення колеса та дозволяє комплексно вирішувати проблему виникнення дефектів. Отримані результати вимірювання вертикальної вібрації (биття) рейки при проходженні колеса порівнюються з нормальним рівнем вібрації. Це дозволяє нормувати значення різних дефектів обода колеса.

Система складається з груп датчиків, що кріпляться на підшві рейки, та розташованих поруч процесорів оцінки та обробки вимірів (рис. 22).



Рисунок 22 – Колійне обладнання комплексу WCM

|    |       |         |        |      |                          |      |
|----|-------|---------|--------|------|--------------------------|------|
|    |       |         |        |      | 0031.216524.ДМР.2022.001 | Арк. |
| Зм | Аркуш | № докум | Підпис | Дата |                          | 71   |

У комплексах WCM передбачена автоматична адаптація до різних шляхових модулів та кліматичних умов при температурі від мінус 40 до плюс 70 °С. Комплекс працює з поїздами будь-якої довжини, що рухаються зі швидкістю від 25 до 130 км/год.

При двохвилинному інтервалі попутного прямування комплекс здатний обробляти інформацію про 1500 колісних пар, виявляючи дефекти діаметром до 5 мм.

Система підтримує роботу з радіочастотними датчиками вагонів системи автоматичної ідентифікації рухомого складу (Radio Frequency Identification – RFID).

Система Quo Vadis впроваджена на залізницях Нідерландів. Основне завдання, яке вирішується цією системою, – моніторинг маси рухомого складу. У системі Quo Vadis вимірювання здійснюються з використанням передової технології із застосуванням волоконно-оптичних датчиків. За результатами випробувань системи Quo Vadis встановлено, що для отримання результатів із задовільною точністю необхідно і достатньо встановлювати на рейках чотири датчики, кожен з яких видає інформацію про масу поїзда, осьове навантаження, якість коліс, швидкість і кількість осей поїзда. В описі системи зазначається, що навантаження визначаються згинальними деформаціями рейки з автоматичним урахуванням впливу стану колії (зміни в часі жорсткості та демпфуючої здатності колійної структури), а також з корекцією на вплив інших коліс.

На (рис. 23) наведено сигнали, що реєструються датчиками, встановленими на правій та лівій рейках колії при проходженні чотирьох вагонів. У сигналах спостерігаються піки та коливання, пов'язані з проходженням коліс з дефектами поверхні кочення типу «повзун». У програмному забезпеченні системи передбачено компенсацію піків для більш точного визначення осьових навантажень (і згодом маси поїзда). Сигнали не залежать від швидкості руху поїзда за умови, що вона перевищує 40 км/год. Для врахування особливостей стану інфраструктури в місці розташування датчиків

|    |       |         |        |      |                          |      |
|----|-------|---------|--------|------|--------------------------|------|
|    |       |         |        |      | 0031.216524.ДМР.2022.001 | Арк. |
| Зм | Аркуш | № докум | Підпис | Дата |                          | 72   |

вони автоматично калібруються при проходженні «еталонної» одиниці рухомого складу, наприклад, локомотива певної серії, що має відому масу.

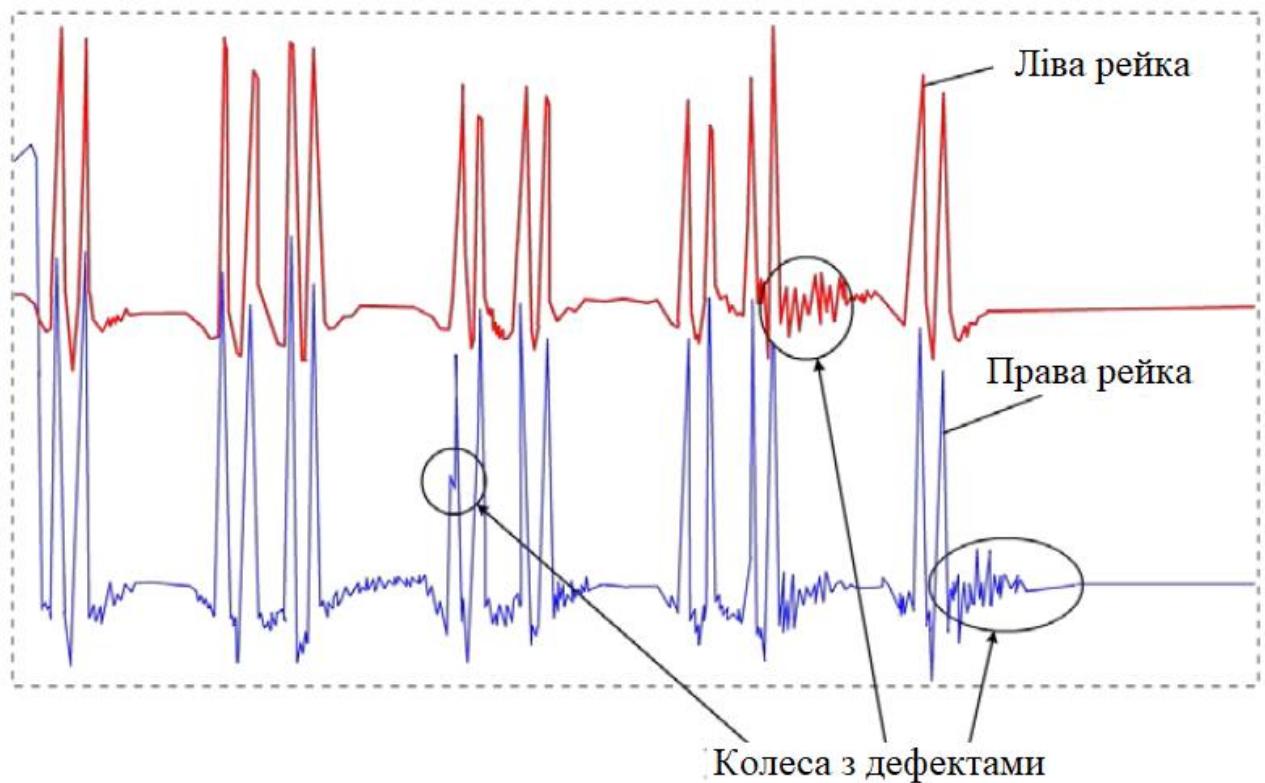


Рисунок 23 – Діагностичні сигнали у системі Quo Vadis

Впровадження системи Quo Vadis та її робота протягом кількох років дозволили компаніям – власникам рухомого складу накопичити значний досвід експлуатації. Можливості системи Quo Vadis обмежені та спрямовані на вимірювання навантажень від рухомого складу на колію. Система не передбачена для використання її як інструмент для виявлення та оцінки параметрів дефектів поверхні кочення коліс, інших несправностей рухомого складу. Крім цього, використання системи Quo Vadis суттєво обмежене діапазоном застосовуваних швидкостей понад 40 км/год.

Також, на залізницях Німеччини розроблено та широко застосовується діагностична система Lasca, яка так само виконує вагову функцію. Як вимірювальні перетворювачі в системі використовуються волоконно-оптичні датчики (рис. 24). Вимірювальна ділянка складається із шести пар лазерних

датчиків, встановлених між шпалами (рис. 25). На відстані між центрами шпал 600 мм чутлива довжина вимірювальної ділянки становить 3 600 мм.

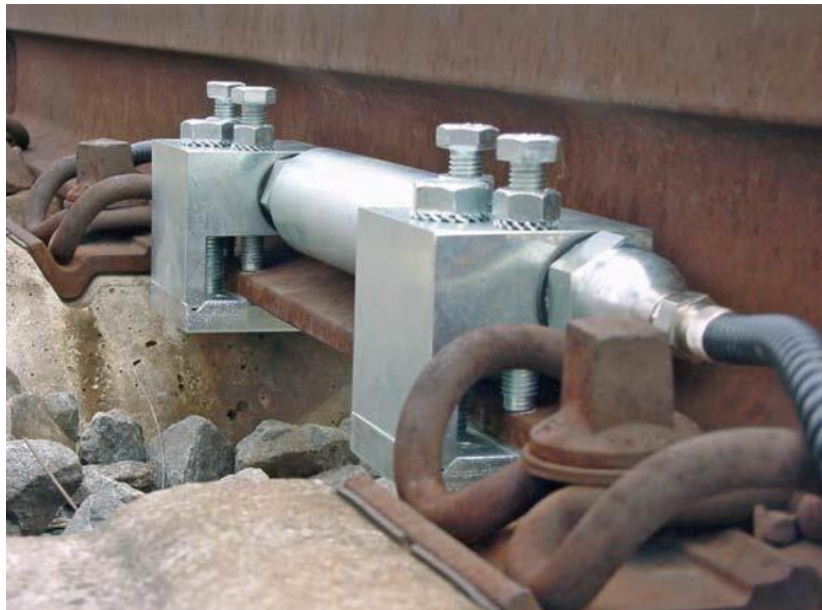


Рисунок 24 – Фотографія лазерного датчика вимірювальної системи Lasca

Для вимірювальної ділянки система забезпечує можливість контролю повністю всієї поверхні кочення коліс (довжина поверхні кочення становить приблизно 3000 мм і залежить від зносу обода колеса). У первинних сигналах системи міститься значна кількість інформації, у тому числі про місце проходження поїзда, дату і час, номер поїзда, швидкість, напрямок, загальну кількість осей, довжину поїзда, його загальну масу, стан вузлів вагонів.

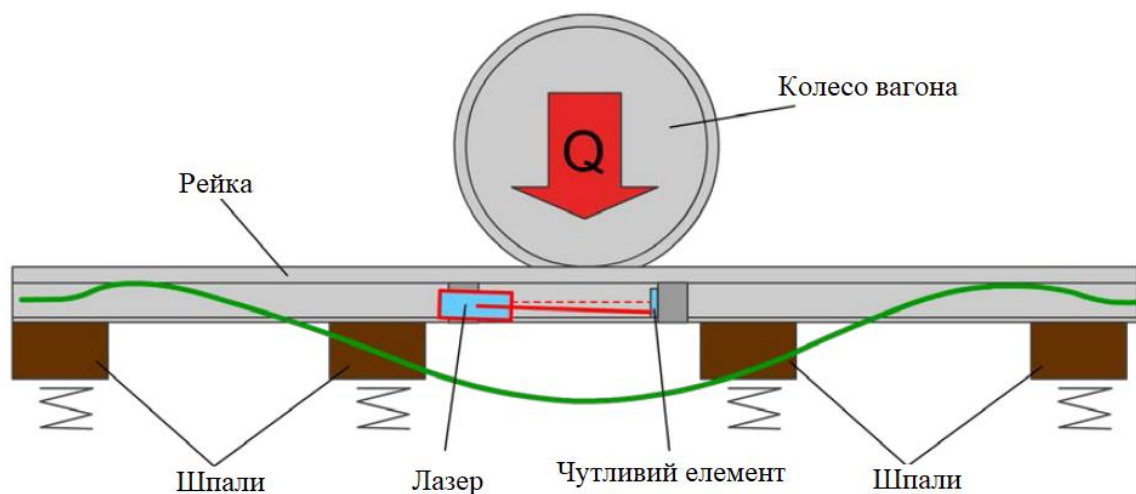


Рисунок 25 – Схема вимірювання вертикального навантаження системою Lasca

|    |       |         |        |      |
|----|-------|---------|--------|------|
|    |       |         |        |      |
| Зм | Аркуш | № докум | Підпис | Дата |

0031.216524.ДМР.2022.001

Арк.

74

Інформативною частиною сигналу, що характеризує динаміку взаємодії колеса та рейки, є частина сигналу на інтервалі часу, коли колесо безпосередньо проходить над датчиком. На (рис. 26) представлені сигнали від проїзду колеса над шістьма датчиками з правої та лівої рейок. Довжина чутливої зони (інформативної зони) становить 0,9 м. На даному рисунку представлені лише інформативні сигнали, які можна якось інтерпретувати. Лінія поз. 1 показує сигнали з датчиків, які розташовані на лівому по ходу руху поїзда рейці, а червона лінія (поз. 2) – на правому.

Сигнали з датчиків лівого колеса (поз. 1 рис. 26) характерні ситуації, у якій відсутні дефекти поверхні кочення. На другій лінії (поз. 2 рис. 26) спостерігаються відхилення (позиції Defekt 1 і Defekt 2) від нормального кочення колеса, які пов'язані з дефектами поверхні кочення.

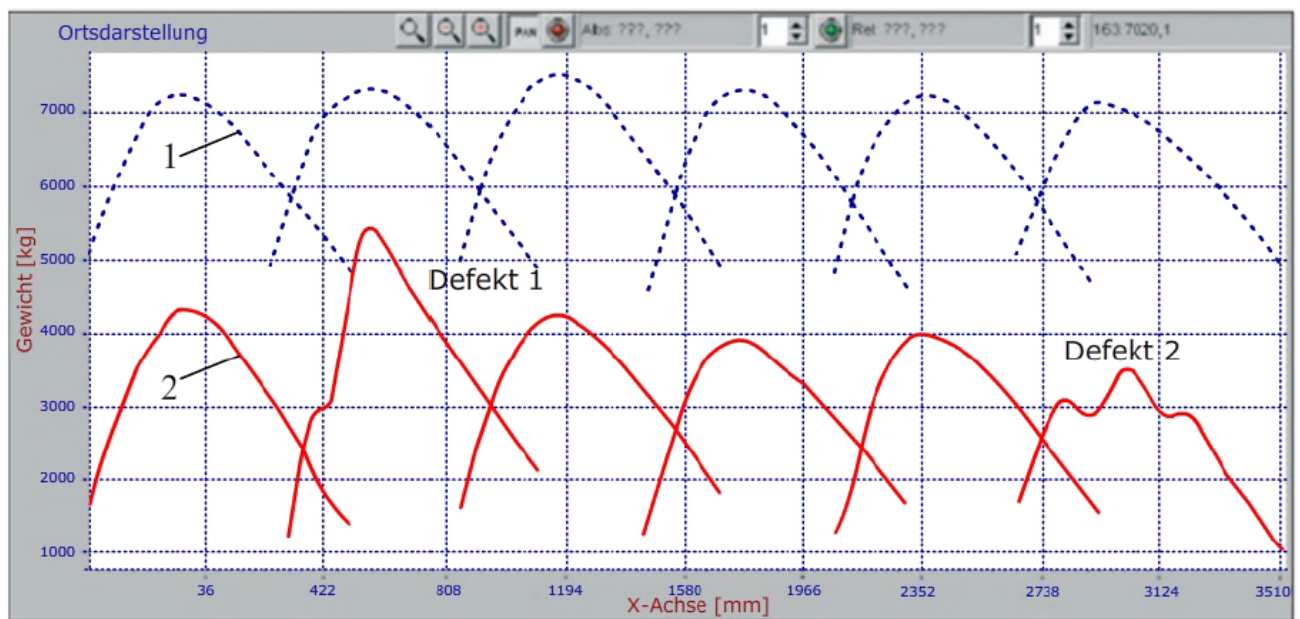


Рисунок 26 – Первинні сигнали системи Lasca

Подвійні піки, які зареєстровані на другому та шостому датчиках, сигналізують про порушення округлості колеса, що свідчить про дефекти типів: повзун, вищербина, навар. Різні значення амплітуди піків на датчику свідчать про ексцентриситет колеса.

|    |       |         |        |      |
|----|-------|---------|--------|------|
|    |       |         |        |      |
| Зм | Аркуш | № докум | Підпис | Дата |

При виявленні дефектних коліс вагони направляються в депо для проведення вимірювального контролю, за результатами якого приймають рішення про бракування колеса. Система Lasca на основі первинної інформації видає чотири види тривоги: зелена, жовта, червона та фіолетова. При сигналі «Фіолетова тривога» колесо містить небезпечний дефект і поїзд негайно зупиняється. Таким чином, система дозволяє виявляти та класифікувати дефекти на чотири групи за ступенем небезпеки. Обмеженість системи пов'язана з відсутністю кількісних, метрологічно забезпечених вимірюваних параметрів динамічних сил або розмірів дефектів поверхні кочення.

Система Wheel Condition Monitor (WCM) розроблена в Австралії та призначена для виявлення дефектів поверхні кочення коліс вагонів. Система реалізує функції контролю на швидкості руху поїзда від 25 до 130 км/год із роздільною здатністю на відстані 5 мм. У програмному забезпеченні системи WCM реалізовано функцію аналізу первинних сигналів з датчиків та прогнозування розвитку дефектів поверхні кочення. Результати роботи системи використовуються для керування обмеженням швидкості руху поїздів.

У США розроблено діагностичну систему Wheel Impact Load Detector (WILD). Фотографія вимірювального обладнання системи WILD представлена на (рис. 27). Вимірювальна ділянка загальною довжиною 16 м монтується безпосередньо на колії над 25 шпалами. Конструктивно вона складається з трьох вимірювальних зон: центральної та двох бокових. Відстань між зонами обмежується трьома шпалами, довжина бокових зон становить шість, а центральної зони – сім шпал. На шийку рейки у проекції між шпалами встановлюється вісім тензорезисторів, які потім з'єднуються за мостовою схемою. Тензорезистори розташовані на рейці таким чином, щоб вихідний сигнал був пропорційний вертикальній силі, що передається від колеса на рейку. Посилений та оцифрований сигнал з виходу мостової схеми передається в центральний процесор системи. При проході поїзда через вимірювальну зону

|    |       |         |        |      |                          |      |
|----|-------|---------|--------|------|--------------------------|------|
|    |       |         |        |      | 0031.216524.ДМР.2022.001 | Арк. |
| Зм | Аркуш | № докум | Підпис | Дата |                          | 76   |

система реєструє сигнали і у разі перевищення заданого порогового рівня надсилається повідомлення в центр управління рухом.

Випробування даної системи показали мінімальну чутливість до бокових дій колеса на рейку. Вихідний сигнал від колеса, що не має дефектів поверхні кочення і здійснює оборот в зоні установки тензорезисторів, має трапецієподібну форму з досить однорідною чутливістю. На вихідний сигнал впливає швидкість руху, частотна характеристика системи «колесо-рейка-підрейкова основа», яка залежить від наведеної маси рейки та динамічної жорсткості колії. Амплітуда вихідного сигналу функціонально пов'язана зі зміною маси складу, яка викликана нерівностями колеса та рейки, а також динамікою вагона. Зона чутливості однієї групи тензодатчиків становить 20 см.



Рисунок 27 – Фотографія вимірювальної ділянки системи WILD

Система WILD працює в діапазоні швидкостей від 40 до 300 км/год з дозволеною здатністю при вимірюванні вертикальних сил, що дорівнює 40 Н. При експлуатації системи на залізницях з'ясувалося, що довгі нерівності на колесах при високих швидкостях руху є причиною найбільшого динамічного впливу. Дані дефекти практично не виявляються під час візуального огляду.

На залізницях Фінляндії застосовується діагностична система ScalexWild, заснована для вимірювання та аналізу деформацій рейки та призначена для виявлення вибоїн на поверхні кочення колеса. У процесі руху залізничного

|    |       |         |        |      |                          |      |
|----|-------|---------|--------|------|--------------------------|------|
|    |       |         |        |      | 0031.216524.ДМР.2022.001 | Арк. |
| Зм | Аркуш | № докум | Підпис | Дата |                          | 77   |

рухомого складу діагностичною ділянкою реєструються статичні і динамічні сили від колеса на рейку. Одночасно вимірюється швидкість вагона. Користувач залежно від розв'язуваних завдань може налаштовувати рівні тривоги: перевантаження, нерівномірний розподіл навантаження між різними сторонами вагона, граничні характеристики набору швидкості та гальмування під час вимірювання. Система реєструє та зберігає такі дані: ударне навантаження від колеса, дата виявлення, час виявлення, напрям руху, швидкість поїзда, тип поїзда, номер вагона (зазвичай серійний номер), номер візка, номер осі.

Всі вимірювання виконуються з похибкою 2% від загальної маси, або 4% від осі, або 10% від динамічного навантаження при швидкості руху від 15 до 150 км/год. Обробка результатів вимірювань займає тривалий час. Перші результати з'являються на сервері через 30 секунд після проходження останнього вагона по діагностичній ділянці. Система призначена для контролю поїздів з максимальним навантаженням на вісь 40 т. Установка системи може бути виконана на рейки з будь-яким стандартним профілем на ділянці колії із залізобетонними або дерев'яними шпалами. Система функціонує у діапазоні температур від -40 до +60 °С.

В Іспанії, Франції, Південній Кореї, Литві, Німеччині, Австрії, Індії для своєчасного виявлення рухомого складу із дефектами поверхні кочення колеса використовується система Sensorline. Досвід використання системи на мережі залізниць показав, що її впровадження дозволило зменшити витрати, пов'язані зі зносом рухомого складу та залізничного полотна, шум та вібрацію, підвищити рівень комфорту при пасажирських перевезеннях.

В системі використовуються вбудовані датчики на основі волоконно-оптичної технології для вимірювання сили, що передається від колеса на рейки (рис. 28). Товщина датчиків Sensorline дозволяє встановлювати їх замість стандартної гумової підкладки. При проходженні колеса над датчиком збільшуються сили реакції в системі «рейка – шпала», що викликає деформацію датчика. Виміряні значення інтерпретуються програмним забезпеченням

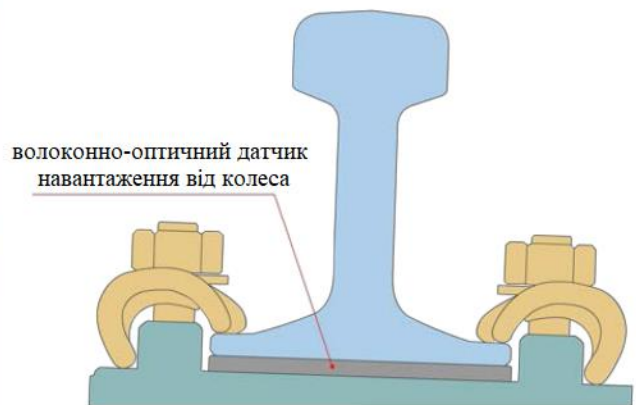
|    |       |         |        |      |                          |      |
|----|-------|---------|--------|------|--------------------------|------|
|    |       |         |        |      | 0031.216524.ДМР.2022.001 | Арк. |
| Зм | Аркуш | № докум | Підпис | Дата |                          | 78   |

протягом кількох секунд, локалізуючи дефективні колеса і передаються в базу даних. Дані про дефектні колеса та їх місце розташування в поїзді передаються до пункту диспетчерського контролю по лінії передачі даних.

Довжина вимірювальної ділянки системи Sensorline становить від 4,2 до 7,8 м. Для підвищення достовірності контролю в системі передбачена можливість збільшення довжини ділянки. Колесо в процесі контролю робить два і більше обертів. Система здатна працювати при швидкостях руху від 35 до 350 км/год, проте мінімальна похибка вимірювання 3% досягається при швидкості до 60 км/год.



а)

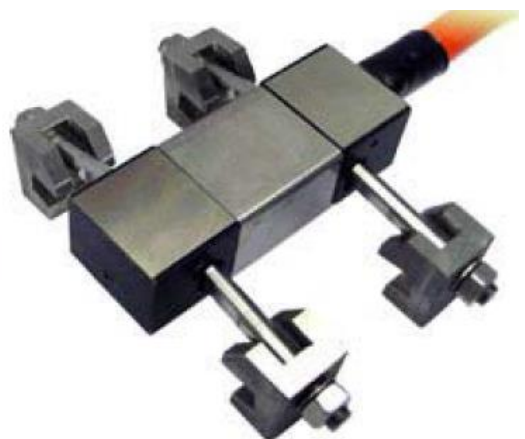


б)

Рисунок 28 – Фотографія волоконно-оптичного датчика системи Sensorline (а) та схема його встановлення (б)



а)



б)

Рисунок 29 – Стара (а) та вдосконалена (б) модель датчика відхилення рейки системи Gotcha

|    |       |         |        |      |
|----|-------|---------|--------|------|
|    |       |         |        |      |
| Зм | Аркуш | № докум | Підпис | Дата |

0031.216524.ДМР.2022.001

Арк.

79

Система Gotcha розроблена за співпраці голландських фірм NedTrain і Baas та шведської фірми TagMaster, вона дозволяє реєструвати силовий вплив колеса на рейку. Апаратна частина системи розроблена фірмою NedTrain Consulting. На початковому етапі у програмі ADAMS виконано математичне моделювання різних дефектів колеса та оцінено їх вплив на рейку. На основі отриманих даних розроблено спеціалізовані датчики. На (рис. 29) зображено дві моделі цих датчиків (стара та вдосконалена). Чутливий елемент (волоконно-оптичний перетворювач) згинається так само, як і залізнична рейка. Вимірювання проводяться на частоті 1 кГц. Заявлена розробником роздільна здатність системи становить 0,5 мм. Система Gotcha експлуатується в Нідерландах вже десять років, і зараз на залізницях встановлено 42 системи.

#### **4.2 Дослідження осей колісних пар за методом компанії ННА**

Технічне обслуговування поділяється на огляди, утримання та ремонт. Огляди є необхідними для оцінки реального стану об'єкта, утримання повинне забезпечувати його технічний стан, а ремонт є необхідним для відновлення об'єкта у разі його пошкодження. Правила ремонту осей колісних пар визначено у різних нормативних документах та технологічних регламентах, де насамперед містяться вказівки про довговічність деталей та порядок технічного обслуговування, а також про ремонтні роботи. Періодичність огляду як правило задає виробник у своїй програмі технічного обслуговування, яку експлуатуюча структура повинна послідовно переробити на власний програмний документ, оскільки їй точно відомі всі реальні умови роботи рухомого складу, а отже, і осей колісних пар. Огляди потрібні для того, щоб виключити будь-який ризик щодо безпеки руху. Стосовно осей колісних пар це означає, що всі функції посприйняттю навантаження, напрямку колісної пари в колії, передачі тягового та гальмівного моментів, відведення струму через рейки повинні бути гарантовані. У зв'язку з цим представлена концепція оглядів орієнтована на запобігання руйнуванню осі колісної пари, причиною якої можуть бути втомні тріщини.

|    |       |         |        |      |                          |      |
|----|-------|---------|--------|------|--------------------------|------|
|    |       |         |        |      | 0031.216524.ДМР.2022.001 | Арк. |
| Зм | Аркуш | № докум | Підпис | Дата |                          | 80   |

Таким чином, існує три варіанти постановки завдання для вибору концепції проведення оглядів:

– визначення граничної величини пробігу до утворення тріщин на основі досвіду експлуатації з урахуванням концепції безпеки, що базується на втомному та експлуатаційному межах витривалості;

– визначення залишкової величини пробігу після виявлення тріщини, яке виконується на основі положень механіки зламу (лінійної пружної механіки руйнування);

– вибір заходів для перехідної фази.

Щоб підвищити достовірність зроблених висновків щодо втомної міцності, необхідно знати реальні експлуатаційні навантаження. Компанія ННА провела випробування осей колісних пар, які використовуються під вагонами метрополітену. При цьому проходили випробування колісні пари як старих поїздів DT3 (рис. 30), так і нових DT4 (рис. 31), які починаючи з п'ятої партії поставок мають змінені розміри. Усього на колісних парах трьох типів (одного поїзда DT3 і двох - DT4) були проведені вимірювання навантажень по всій мережі ННА для підтримуючих та моторних колісних пар.



Рисунок 30 – Поїзд серії DT3 біля наземної платформи

|    |       |         |        |      |                          |      |
|----|-------|---------|--------|------|--------------------------|------|
|    |       |         |        |      | 0031.216524.ДМР.2022.001 | Арк. |
| Зм | Аркуш | № докум | Підпис | Дата |                          | 81   |



Рисунок 31 – Поїзд серії DT4 на лінії U3

Було з'ясовано, що величина навантажень на осі колісних пар в основному залежить від наступних умов, що виникають під час експлуатації:

- населеності вагона, що впливає на величину статичного колісного навантаження;
- положення колісної пари в візку - передня або задня по ходу руху;
- характеру рух у кривій (режим найбільшого навантаження);
- впливу тягових і гальмівних сил (додаткові навантаження).

Сили, виміряні під час руху в кривих, надалі були надані для більш глибокого аналізу. Оцінка результатів 2000 вимірювальних поїздок у кривих показала, що високі навантаження тут виникають лише в окремих випадках і вони однакові як для підтримуючих колісних пар, так і для моторних осей. У цьому визначальну роль грає радіус кривої. Вплив некомпенсованих поперечних прискорень і відхилень геометрії колії, що виникають при русі, в рамках робочих допусків, загалом, невеликий. Рівень сил скручування загалом такий, що ними можна знехтувати. У той же час виникає значний градієнт згинального моменту вздовж поздовжньої осі колісної пари, що викликається високими поперечними силами. Оскільки було неможливо отримати результати вимірювань відповідно до

|    |       |         |        |      |                          |      |
|----|-------|---------|--------|------|--------------------------|------|
|    |       |         |        |      | 0031.216524.ДМР.2022.001 | Арк. |
| Зм | Аркуш | № докум | Підпис | Дата |                          | 82   |

додатку сил, передбаченого стандартом EN 13104, для цих вагонів була розроблена математична модель Хоймана, яка враховує опір тертя проковзування всього візка при переході з прямої ділянки в криву таким чином, що поздовжній опір проковзування задньої колісної пари впливає на величину напрямних сил передньої колісної пари. Підвищені навантаження при проходженні кривих малого радіусу мають бути враховані за рахунок підвищення коефіцієнта зчеплення до значення  $\mu = 0,6$ .

Завдяки використанню наявної інформації про навантаження, отримані в експлуатації, а також застосуванню математичної моделі Хоймана з'являється можливість визначити питомі комбінації навантажень для різних осей колісних пар та розрахувати їх реальні критичні поперечні перерізи.

Визначення величини експлуатаційного пробігу до появи тріщин в осях колісних пар вагонів типу DT4 стало можливим на основі використання досвіду експлуатації вагонів типу DT3, які мають значно більший термін служби. У будь-якому випадку, в розрахунок повинні братися результати досвіду роботи під впливом реальних навантажень, а не тільки комбінації розрахункових навантажень.

У осі однієї з колісних пар вагона DT3 після пробігу 2,5 млн км. при дефектоскопії була виявлена втомна тріщина на підступичній частині осі. Інших тріщин при регулярному ультразвуковому обстеженні не було виявлено, хоча за попередній період сумарний пробіг рухомого складу ННА у перерахунку на одиницю перевищив 900 тис. км. Щоб поширити ці показники на інші осі колісних пар, треба було порівняти питомі навантаження осей колісних пар з розрахунковими. Якщо для нових осей колісних пар вагонів типу DT4 у порівнянні зі старими осями вагонів DT3, для яких підтверджено позитивний факт експлуатаційного пробігу 2,5 млн км, буде доведено таку ж перевагу у забезпеченні безпеки руху, то від них можна очікувати аналогічного експлуатаційного ефекту і під вагонами DT4.

|    |       |         |        |      |                          |      |
|----|-------|---------|--------|------|--------------------------|------|
|    |       |         |        |      | 0031.216524.ДМР.2022.001 | Арк. |
| Зм | Аркуш | № докум | Підпис | Дата |                          | 83   |

Використовуючи математичну модель Хоймана, з урахуванням додаткових навантажень можна шляхом розрахунку визначити напруження, для чого потрібно застосувати теоретичний коефіцієнт концентрації напружень. Також можна брати і значення коефіцієнта дії надрізу (тріщини) для розрахунку ступеня навантаження в зоні пресової посадки, оскільки задані параметри нормативних документів, що діють, належать до випадку, коли співвідношення діаметрів становить  $D/d < 1,15$ , що в колісних парах застарілих конструкцій не дотримувалося.

Концепція безпеки та експлуатаційної міцності ґрунтується на визначенні суми можливої шкоди  $D$ , яку розраховують виходячи із сумарних навантажень та кривої Велера шляхом накопичення пошкоджень. Перевага полягає у тому, що це дозволяє врахувати всі зовнішні навантаження, і навіть наслідки їх впливів. Негативним фактором є значний вплив характеру кривої Велера, що стосується конкретної деталі. У зв'язку з цим застосування гіпотези накопичення пошкоджень без випробувань, що паралельно проводяться, не дозволить отримати достовірних результатів при визначенні експлуатаційної надійності.

Розрахунки експлуатаційної надійності з урахуванням фіктивних ліній Велера можна використовуватиме для оцінки відносних величин. На основі раніше запропонованих способів визначення амплітуди, еквівалентної ступеня несправності, надалі для конкретних осей колісних пар може бути розрахована сумарна ступінь пошкоджень, що дозволить зіставити робочий пробіг різних осей від початку експлуатації до моменту появи тріщин.

Розрахунки граничних експлуатаційних навантажень показали, що перетин із внутрішнього краю підступичної частини зазнає найбільшого навантаження. У зв'язку з цим розрахунки експлуатаційної міцності проводилися спеціально для перетину. Сумарні дефекти визначають з урахуванням змішаного сумарного навантаження з урахуванням різних умов експлуатації рухомого складу. Для розрахунку осі колісної пари фіктивна крива Велера будується двома різними способами.

|    |       |         |        |      |                          |      |
|----|-------|---------|--------|------|--------------------------|------|
|    |       |         |        |      | 0031.216524.ДМР.2022.001 | Арк. |
| Зм | Аркуш | № докум | Підпис | Дата |                          | 84   |

При цьому:

$$n_i = n_D (\sigma_D / \sigma_i)^k \quad (1)$$

де  $n_i$  –  $i$ -й клас напружень в матеріалі осі;

$n_D$  – задана кількість навантажень;

$\sigma_D, \sigma_i$  – відповідні значення величин напружень;

$k$  – коефіцієнт підйому кривої Велера перед точкою перелому.

Небезпечна частка напружень  $i$ -го класу визначається за формулою:

$$D_i = H_i / n_i \quad (2)$$

де  $H_i$  – загальна кількість класів напружень.

Сумарні ушкодження складаються з часток ушкоджень, викликаних числом класів напружень, що дорівнює  $n$ .

Отже, за допомогою розрахунків, що виконуються на основі реальних показників експлуатаційної роботи та відповідно до концепції безпеки руху, можна визначати втомну міцність та експлуатаційну надійність колісних пар в процесі їх експлуатації.

#### Висновки до розділу 4

- розглянуто технічні характеристики систем безконтактного оптичного контролю параметрів колісних пар;
- досліджено основні принципи побудови систем безконтактного оптичного контролю параметрів колісних пар, розглянуто їх переваги та недоліки;
- встановлено, що основою організації систем моніторингу колісних пар є інтегрування у межах єдиного комплексу функцій кількох модулів, щоб забезпечити отримання повної інформації про параметри колісної пари;
- встановлено, що використання розрахунків, що виконуються на основі реальних показників експлуатаційної роботи та відповідно до концепції безпеки руху, дозволяє визначати втомну міцність та експлуатаційну надійність колісних пар в процесі їх експлуатації.

|    |       |         |        |      |                          |      |
|----|-------|---------|--------|------|--------------------------|------|
|    |       |         |        |      | 0031.216524.ДМР.2022.001 | Арк. |
|    |       |         |        |      |                          | 85   |
| Зм | Аркуш | № докум | Підпис | Дата |                          |      |

## ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

- проаналізовано основні типи колісних пар, їх конструктивні розміри відповідно до вимог чинних стандартів, які діють на залізничному транспорті України;
- розглянуто проектні профілі коліс та різні їх схеми при взаємодії з рейковою колією;
- показано основні співвідношення механічних характеристик колеса та рейки в USA та Міжнародному союзі залізниць, що в середньому становить 1,1 та 1,15 відповідно;
- досліджено комплексний підхід до механізму зношування залізничних коліс, що представляє сукупність механічних, теплофізичних та хімічних явищ;
- розглянуто характеристики дефектів, причини їх виникнення та граничні норми відповідно до яких може відбутись перехід колісної пари з стравного працездатного стану до несправного;
- наведено класифікатор дефектів осі колісної пари, який діє у США та інших країнах Європи;
- розглянуто та проведено порівняння відчизняних стандартів та стандартів країн Європейського Союзу щодо конструювання, виготовлення, випробування і технічного обслуговування колісних пар;
- розглянуто основні види та об'єм технічних оглядів та ремонту колісних пар, внаслідок їх експлуатації рейковою колією;
- наведено основні засоби вимірювання параметрів колісних пар локомотивів, а саме діаметра коліс по колу кочення, ширини бандажів, міжбандажної відстані, прокату, навару, повзуна, товщини гребеня та його підрізу;
- показано важливість застосування дефектоскопії в процесі виробництва та експлуатації колісних пар;

|    |       |         |        |      |                          |      |
|----|-------|---------|--------|------|--------------------------|------|
|    |       |         |        |      | 0031.216524.ДМР.2022.001 | Арк. |
| Зм | Аркуш | № докум | Підпис | Дата |                          | 86   |

- розглянуто технічні характеристики систем безконтактного оптичного контролю параметрів колісних пар;
- досліджено основні принципи побудови систем безконтактного оптичного контролю параметрів колісних пар, розглянуто їх переваги та недоліки;
- встановлено, що основою організації систем моніторингу колісних пар є інтегрування у межах єдиного комплексу функцій кількох модулів, щоб забезпечити отримання повної інформації про параметри колісної пари;
- встановлено, що використання розрахунків, що виконуються на основі реальних показників експлуатаційної роботи та відповідно до концепції безпеки руху, дозволяє визначати втомну міцність та експлуатаційну надійність колісних пар в процесі їх експлуатації.

|    |       |         |        |      |                          |      |
|----|-------|---------|--------|------|--------------------------|------|
|    |       |         |        |      | 0031.216524.ДМР.2022.001 | Арк. |
| Зм | Аркуш | № докум | Підпис | Дата |                          | 87   |

## БІБЛІОГРАФІЯ

1. Orlova, A., Boronenko, Yu. The anatomy of railway vehicle running gear // In: Handbook of railway vehicle dynamics. Ed. S. Iwnicki. ISBN-13: 978-0-8493-3321-7. - CRC Press, Taylor & Francis Group, 2006. - p. 39-84.
2. Вагоны: конструкция, теория и расчет/Под ред. Л.А. Шадура. - М.: Транспорт, 1973. - 440 с.
3. ДСТУ ГОСТ 4835:2008 Колісні пари вагонів магістральних залізниць колії 1520 мм. Технічні умови (ГОСТ 4835-2006, IDT)
4. ДСТУ ГОСТ 11018:2005 Тяговий рухомий склад залізниць колії 1520 мм. Колісні пари. Загальні технічні умови» (ГОСТ 11018-2000, IDT)
5. ГОСТ 9036-88 Колеса цельнокатаные. Конструкция и размеры.
6. ДСТУ ГОСТ 10791-2006 (ИСО 1005-6-94) Колеса суцільнокатані. Технічні умови.
7. ГОСТ 4491-86 Центра колесные литые для подвижного состава железных дорог колеи 1520 мм. Общие технические условия.
8. ГОСТ 398-96 Бандажи из углеродистой стали для подвижного состава железных дорог широкой колеи и метрополитена. Технические условия.
9. 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>
10. ДСТУ ГОСТ 31334:2009 Осі для рухомого складу залізниць колії 1520 мм. Технічні умови (ГОСТ 31334-2007, IDT)
11. ДСТУ 2532-94 (ГОСТ 30552-98) Заготовки профільні (необроблені осі) для рухомого складу залізниць з колією 1520 мм. Припуски та допуски
12. ДСТУ ГОСТ 4728:2014 Заготівки осьові для залізничного рухомого складу. Технічні умови (ГОСТ 4728–2010, IDT)

|    |       |         |        |      |                          |      |
|----|-------|---------|--------|------|--------------------------|------|
|    |       |         |        |      | 0031.216524.ДМР.2022.001 | Арк. |
| Зм | Аркуш | № докум | Підпис | Дата |                          | 88   |

13. Губенко С.И., Парусов В.В., Деревянченко И.В. Неметаллические включения в стали. - Днепропетровск: АРТ-ПРЕСС, 2005. - 536с.
14. Бельченко Г.И., Губенко С.И. Неметаллические включения и качество стали. К.: Техника, 1980. - 168 с.
15. Suh N.P. The Delamination Theory of Wear. Wear, 1973, v. 23, n 1, p. III - 124.
16. Богданов А.Ф., Чурсин В.Г. Эксплуатация и ремонт колесных пар вагонов. - Транспорт. - 1985. - 270 с.
17. Цикунов А.Е. Классификация дефектов колесных пар // Железнодорожный транспорт. 1966, № 1. с. 64 - 66.
18. Машнев М.М., Хрусталеv Р.С. О классификации дефектов колесных пар // Железнодорожный транспорт. 1968. № 2. с. 58 - 60.
19. ДСТУ ГОСТ 31373:2013 Колісні пари локомотивів і моторвагонного рухомого складу. Розрахунки та випробування на міцність (ГОСТ 31373-2008, IDT)
20. DIN EN 13103. Railway applications. Wheelsets and bogies. Non-Powered axles. Design method / German version EN 13103:2001. – 27 p.
21. DIN EN 13104. Railway applications. Wheelsets and bogies. Powered axles. Design method / English version EN 13104:2001. – 27 p.
22. DIN EN 13260:2011-01. Railway applications. Wheelsets and bogies. Wheelsets. Product requirements / German version EN 13260:2009+A1:2010.
23. DIN EN 13261:2011-01. Railway applications. Wheelsets and bogies. Axles. Product requirements / German version EN 13261:2009+A1:2010.
24. NF EN 13262+A1-2009. Railway applications. Wheelsets and bogies. Wheels. Product requirements.
25. CSN EN 13979-1. Railway applications. Wheelsets and bogies. Wheelsets. Product requirements.
26. ДСТУ ГОСТ 31847:2016 (ГОСТ 31847–2012, IDT) Колісні пари спеціального рухомого складу. Загальні технічні умови

|    |       |         |        |      |                          |      |
|----|-------|---------|--------|------|--------------------------|------|
|    |       |         |        |      | 0031.216524.ДМР.2022.001 | Арк. |
| Зм | Аркуш | № докум | Підпис | Дата |                          | 89   |

27. ДСТУ ГОСТ 10791:2016 (ГОСТ 10791-2011, IDT) Колеса суцільнокатані. Технічні умови.
28. ДСТУ ГОСТ 4491:2018 (ГОСТ 4491–2016, IDT) Центри колісні литі залізничного рухомого складу. Загальні технічні умови.
29. ASTM A 729. Standard Specification for Alloy Steel Axles, Heat-Treated, for Mass Transit and Electric Railway Service / Note: Approved 1999-00-00.
30. AAR M-101. AAR Manual of standards and Recommended Practices Wheels and Axles.
31. ASTM A 551/A 551M. Standard Specification for Carbon Steel Tires for Railway and Rapid Transit Applications.
32. ASTM A 583. Standard Specification for Cast Steel Wheels for Railway Service / Note: Reapproved 1999\*Approved 1999-00-00.
33. AAR M-107/M208. AAR Manual of standards and Recommended Practices Wheels and Axles.
34. AAR S 660. Wheel designs, locomotive and freight car. Analytic evaluation.
35. AAR S 669. Analytic evaluation of locomotive wheel designs.
36. JIS E 4504. Wheelsets for railway rolling stock. Quality requirements.
37. JIS E 4502-1JIS. Rolling stock - Axles - Part 1: Quality requirements.
38. JIS E 4502-2. Axles for railway rolling stock. Dimensional requirements.
39. JIS E 5401-2. Carbon steel tyres for railway rolling stock. Wheel centres and tyred wheels. Dimensional, balancing and assembly requirements.
40. JIS E 5402-1. Railway rolling stock. Solid wheel. Part 1: Quality requirements.
41. JIS E 4501. Railway rolling stock. Design methods for strength of axles.
42. KS R 9218. Railway rolling stock. Assembly and test methods of wheelsets.
43. KS R 9220. Axles for railway rolling stock.
44. KS R 9221. Wheels for railway rolling stock.
45. KS R 9218. Railway rolling stock. Assembly and test methods of wheelsets.

|    |       |         |        |      |                          |      |
|----|-------|---------|--------|------|--------------------------|------|
|    |       |         |        |      | 0031.216524.ДМР.2022.001 | Арк. |
| Зм | Аркуш | № докум | Підпис | Дата |                          | 90   |

## СПИСОК РИСУНКІВ

- Рисунок 1 – Основні типи конструкції колісних пар.
- Рисунок 2 – Основні розміри залізничної колісної пари.
- Рисунок 3 – Основні типи конструкції коліс.
- Рисунок 4 – Основні геометричні розміри колеса.
- Рисунок 5 – Суцільнокатане колесо підвищеної якості та твердості.
- Рисунок 6 – Основні елементи профілю колеса.
- Рисунок 7 – Приклади проектних профілів колеса.
- Рисунок 8 – Зношування по колу кочення (а) і боковий знос гребеня (б).
- Рисунок 9 – Різні ситуації при контакті колеса та рейки.
- Рисунок 10 – Профіль колеса за ГОСТ 9036-88.
- Рисунок 11 – Профіль колеса для локомотивів відповідно до  
ДСТУ ГОСТ 11018:2005.
- Рисунок 12 – Профіль колеса для моторвагонного рухомого складу  
відповідно до ДСТУ ГОСТ 11018:2005.
- Рисунок 13 – Співвідношення механічних характеристик колеса та рейки  
в USA та UIC.
- Рисунок 14 – Види зносу поверхні обода коліс.
- Рисунок 15 – Механічні пошкодження колеса.
- Рисунок 16 – Суцільнокатане колесо.
- Рисунок 17 – Універсальний шаблон контролю параметрів поверхні  
кочення колісних пар.
- Рисунок 18 – Вимірювання міжбандажної відстані штангенциркулем та  
його можливі несправності.
- Рисунок 19 – Система WIS для контролю параметрів колісних пар.
- Рисунок 20 – Схема вимірювання профілю колеса за допомогою системи  
Argus.
- Рисунок 21 – Комплексна система контролю колісних пар WISE.
- Рисунок 22 – Колійне обладнання комплексу WCM.

|    |       |         |        |      |                          |      |
|----|-------|---------|--------|------|--------------------------|------|
|    |       |         |        |      | 0031.216524.ДМР.2022.001 | Арк. |
| Зм | Аркуш | № докум | Підпис | Дата |                          | 91   |

Рисунок 23 – Діагностичні сигнали у системі Quo Vadis.

Рисунок 24 – Фотографія лазерного датчика вимірювальної системи Lasca.

Рисунок 25 – Схема вимірювання вертикального навантаження системою Lasca.

Рисунок 26 – Первинні сигнали системи Lasca.

Рисунок 27 – Фотографія вимірювальної ділянки системи WILD.

Рисунок 28 – Фотографія волоконно-оптичного датчика системи Sensorline (а) та схема його встановлення (б).

Рисунок 29 – Стара (а) та вдосконалена (б) модель датчика відхилення рейки системи Gotcha.

Рисунок 30 – Поїзд серії DT3 біля наземної платформи.

Рисунок 31 – Поїзд серії DT4 на лінії U3.

|    |       |         |        |      |                          |      |
|----|-------|---------|--------|------|--------------------------|------|
|    |       |         |        |      | 0031.216524.ДМР.2022.001 | Арк. |
| Зм | Аркуш | № докум | Підпис | Дата |                          | 92   |

## СПИСОК ТАБЛИЦЬ

- Таблиця 1 – Типи колісних пар неоторного рухомого складу за ДСТУ ГОСТ 4835:2008.
- Таблиця 2 – Основні розміри колісних пар неоторного рухомого складу відповідно ДСТУ ГОСТ 4835:2008.
- Таблиця 3 – Основні розміри колісних пар тягового рухомого складу відповідно ДСТУ ГОСТ 11018:2005.
- Таблиця 4 – Основні розміри суцільокатних коліс.
- Таблиця 5 – Основні розміри складових коліс тягового рухомого складу.
- Таблиця 6 – Хімічний склад осей.
- Таблиця 7 – Класифікація дефектів осі.
- Таблиця 8 – Перелік вітчизняних та іноземних нормативних документів.
- Таблиця 9 – Засоби вимірювання для контролю параметрів колісних пар локомотивів.
- Таблиця 10 – Технічні характеристики систем безконтактного оптичного контролю параметрів колісних пар.

|    |       |         |        |      |                          |      |
|----|-------|---------|--------|------|--------------------------|------|
|    |       |         |        |      | 0031.216524.ДМР.2022.001 | Арк. |
| Зм | Аркуш | № докум | Підпис | Дата |                          | 93   |

## АНОТАЦІЯ І КЛЮЧОВІ СЛОВА

Брінджак Б.І. Дипломна магістерська робота на тему: «Дослідження технічного стану колісних пар у процесі їх експлуатації відповідно до вимог інтероперабельності»: 95 с., 31 рис., 10 табл., 45 дж.

РУХОМИЙ СКЛАД, КОЛІСНА ПАРА, ДЕФЕКТ, СИСТЕМА БЕЗКОНТАКТНОГО ОПТИЧНОГО КОНТРОЛЮ, ТЕХНІЧНІ СПЕЦІФІКАЦІЇ ІНТЕРОПЕРАБЕЛЬНОСТІ

Об'єкт дослідження – колісні пари рухомого складу.

Предмет дослідження – робота сучасних систем контролю технічного стану колісних пар у процесі їх експлуатації відповідно до вимог інтероперабельності (ТСІ).

Мета роботи – дослідження сумісного використання сучасних систем контролю технічного стану колісних пар у процесі їх експлуатації відповідно до вимог інтероперабельності.

Для досягнення поставленої мети в роботі розглянуто характеристики дефектів, причини їх виникнення та граничні норми відповідно до яких може відбутись перехід колісної пари з справного працездатного стану до несправного, виконано огляд та проведено порівняння відчизняних стандартів та стандартів країн Європейського Союзу щодо конструювання, виготовлення, випробування і технічного обслуговування колісних пар, розглянуто технічні характеристики систем безконтактного оптичного контролю параметрів колісних пар, досліджено основні принципи побудови систем безконтактного оптичного контролю параметрів колісних пар, їх переваги та недоліки.

Проведені дослідження дозволяють, використовуючи принципи побудови систем безконтактного оптичного контролю параметрів колісних пар визначати експлуатаційну надійність колісних пар в процесі їх експлуатації.

|    |       |         |        |      |                          |      |
|----|-------|---------|--------|------|--------------------------|------|
|    |       |         |        |      | 0031.216524.ДМР.2022.001 | Арк. |
|    |       |         |        |      |                          | 94   |
| Зм | Аркуш | № докум | Підпис | Дата |                          |      |

## ABSTRACT AND KEYWORDS

Brinjak Bohdan. Master's degree on «Research of the technical condition of wheel sets during their operation in accordance with the requirements of interoperability»: 95 p., 31 figs., 10 tables, 45 sources.

ROLLING STOCK, WHEELS, DEFECT, NON-CONTACT OPTICAL INSPECTION SYSTEM, INTEROPERABILITY TECHNICAL SPECIFICATIONS

The object of research is wheel pairs of rolling stock.

The subject of the research is the operation of modern systems for monitoring the technical condition of wheelsets during their operation in accordance with the requirements of interoperability (TSI).

The purpose of the work is research on the combined use of modern systems for monitoring the technical condition of wheelsets during their operation in accordance with interoperability requirements.

To achieve this goal, the paper considers the characteristics of defects, the causes of their occurrence and the boundary norms, in accordance with which the transition of a wheelset from a good condition to a faulty one, a review and comparison of domestic standards can occur and standards of the EU countries for the design, manufacture, testing and maintenance of wheel sets, the technical characteristics of systems for non-contact optical control of the parameters of wheel sets, the basic principles of building non-contact optical control systems are considered the control of parameters of wheelsets, their advantages and disadvantages are investigated.

The conducted studies allow, using the principles of constructing systems for non-contact optical control of wheel sets parameters, to determine the operational reliability of wheel sets during their operation.

|    |       |         |        |      |                          |      |
|----|-------|---------|--------|------|--------------------------|------|
|    |       |         |        |      | 0031.216524.ДМР.2022.001 | Арк. |
| Зм | Аркуш | № докум | Підпис | Дата |                          | 95   |