

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

«Транспортна інфраструктура»
(повна назва кафедри)

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

на тему: Шляхи удосконалення буксових вузлів рухомого складу для міжнародних перевезень

за освітньою програмою «Інтероперабельність і безпека на залізничному транспорті»

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

Виконав: студент групи: ІН 2226

(підпис студента) (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

/ Михайло ДЖЕГУР /

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

/ PhD Андрій КУЗИШИН /

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

/ зав. каф. Олексій ТЮТЬКІН /

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

Студент

(підпис)

Дніпро – 2024 рік

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

Building, architecture and infrastructure

(faculty/TRC)

Transport infrastructure

(department)

Explanatory Note
to Master's Thesis

Master

(higher education degree)

on the topic: Ways of improving the rolling stock axle units for international transportation

according to educational curriculum Interoperability and safety in railway transport

in the Specialization: 273 Rail transport

(Specialization and its code)

Done by the student

(name, surname)

of the group: IH 2226

/ Mykhailo DZHEGUR /

Scientific Supervisor:

(position, name, surname)

/ Candidate of Science (Engineering)

Andriy KUZYSHYN /

Normative controller :

(position, name, surname)

/ Head of Dept. Oleksii TIUTKIN /

Dnipro – 2024

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Факультет: «Будівництво, архітектура та інфраструктура»

Кафедра: «Транспортна інфраструктура»

Рівень вищої освіти: «Магістр»

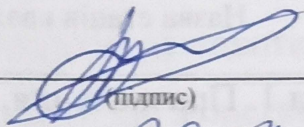
Освітня програма: «Інтероперабельність і безпека на залізничному транспорті»

Спеціальність: 273 «Залізничний транспорт»
(шифр та назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

«Транспортна інфраструктура»


(підпис)

Олексій ТЮТКІН
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Дата 29.01.2023

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу

ОС «магістр»
(ступінь вищої освіти)

студенту Джегуру Михайлу Борисовичу

(Прізвище, Ім'я По батькові)

1. Тема роботи: «Шляхи удосконалення буксових вузлів рухомого складу для міжнародних перевезень»

Керівник роботи: Кузишин Андрій Ярославович, PhD, доцент

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

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

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

3. Вихідні дані до роботи: Результати аналізу українських та європейських норм. Математична модель розрахунку буксового підшипника.

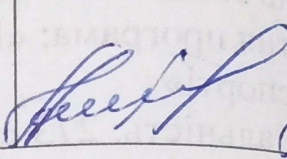
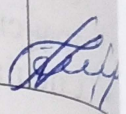
4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно опрацювати):

Вступ. Розділ 1. Призначення, конструкція та технічні характеристики буксового вузла. Розділ 2. Умови експлуатації роликотопідшипників та їх характерні несправності. Розділ 3. Математична модель розрахунку буксового підшипника. Розділ 4. Вдосконалення та модернізація буксових вузлів рухомого складу. Висновки.

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

Презентація за матеріалами досліджень, викладених в магістерській роботі (PowerPoint, 10 слайдів).

6. Консультанти розділів роботи:

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

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Прізвище консультанта
1	Розділ 1. Призначення, конструкція та технічні характеристики буксового вузла.	30.10.2023- 19.11.2023	
2	Розділ 2. Умови експлуатації роликотидшипників та їх характерні несправності.	20.11.2023- 04.12.2023	
3	Розділ 3. Математична модель розрахунку буксового підшипника.	05.12.2023- 17.12.2023	
4	Розділ 4. Вдосконалення та модернізація буксових вузлів рухомого складу.	18.12.2023- 07.01.2024	
5	Перевірка роботи на наявність збігів текстових (літерних і цифрових) символів та графічних фрагментів. Отримання відгуку.	08.01.2024- 14.01.2024	
6	Подання кваліфікаційної роботи до кафедри	15.01.2024	
7	Захист кваліфікаційної роботи на засіданні Екзаменаційної комісії	Згідно з планом ЕК	

Студент

(підпис)

Михайло ДЖЕП
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи

(підпис)

Андрій КУЗИШИН
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи магістра:

59 стор., 29 рис., 1 табл., 16 літературних джерел.

Об'єкт розробки – буксовий вузол рухомого складу.

Мета роботи – дослідження шляхів удосконалення буксових вузлів рухомого складу для міжнародних перевезень.

Метод дослідження – аналіз конструкції та особливостей експлуатації буксових вузлів, розрахунок буксового підшипника на довговічність та надійність.

Для досягнення поставленої мети в роботі розглянуто типи роликотидшипників та особливості їх роботи, наведено переваги та недоліки різних типів підшипникових вузлів букс колісних пар вагонів та локотивів, встановлено, що через різну величину прогинів рейок, різну граничну жорсткість та висоту пружин ресорного підвішування, відхилення розмірів колісних пар, складові вертикального навантаження на кожен буксовий вузол є різними, встановлено, що при навантаженні на вісь 25 т, кількості підшипників у буксі, що сприймають радіальні навантаження – 2 шт, кількості роликів у підшипнику – 14 шт довговічність роликового підшипника складає 2,03 млн. км., відзначено, що вже сьогодні у європейській залізничній системі проходять тести локомотиви та вагони, що працюють на інтелектуальних підшипниках для колісних пар, із вбудованими датчиками, які вимірюють температуру, швидкість та прискорення, встановлено, що датчиками компанії SKF Axletronic відповідають вимогам європейської системи керування поїздами, що є важливим фактором при використанні європейської системи управління залізничним рухом (ERTMS).

Ключові слова: РУХОМИЙ СКЛАД, БУКСОВИЙ ВУЗОЛ, ДОВГОВІЧНІСТЬ, МІЦНІСТЬ, ПРИСКОРЕННЯ, ТЕХНІЧНИЙ СТАН, ТЕХНІЧНІ СПЕЦІФІКАЦІЇ ІНТЕРОПЕРАБЕЛЬНОСТІ

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ І СЛОВНИК ТЕХНІЧНИХ ТЕРМІНІВ

TBU	Дворядні конічні роликотішипники касетного типу
PC	Рухомий склад
ETCS	European Train Control System
IRIS	International Railway Industry Standard
RTC	Випробувальний залізничний центр
ERC	Інженерно-дослідний центр Нідерландів
AAR	Асоціації американських залізниць
МСЗ	Міжнародний союз залізниць
АТР	Система автоматичного захисту поїзда
АТС	Система автоматичного управління поїздом
DIS	Drive Information System
JRU	Juridical Recording Unit
PIS	Passenger Information System
ERTMS	European Rail Traffic Management System

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1. ПРИЗНАЧЕННЯ, КОНСТРУКЦІЯ ТА ТЕХНІЧНІ	
ХАРАКТЕРИСТИКИ БУКСОВОГО ВУЗЛА	6
1.1. Типи буксових роликотпідшипників.....	6
1.2. Типи підшипникових вузлів букс колісних пар.....	10
Висновки до розділу 1.....	15
РОЗДІЛ 2. УМОВИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ РОЛИКОПІДШИПНИКІВ ТА ЇХ	
ХАРАКТЕРНІ НЕСПРАВНОСТІ	16
2.1. Умови експлуатації роликотпідшипників	16
2.2. Особливості роботи деталей та основні види пошкоджень	20
Висновки до розділу 2.....	25
РОЗДІЛ 3. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ РОЗРАХУНКУ БУКСОВОГО	
ПІДШИПНИКА.....	26
Висновки до розділу 3.....	29
РОЗДІЛ 4. ВДОСКОНАЛЕННЯ ТА МОДЕРНІЗАЦІЯ БУКСОВИХ ВУЗЛІВ	
РУХОМОГО СКЛАДУ	30
4.1. Підшипникові вузли, що застосовуються для сучасного рухомого складу та перспективи їх розвитку	30
4.2. Удосконалення буксових вузлів датчиками компанії SKF	37
Висновки до розділу 4.....	55
ВИСНОВКИ	56
СПИСОК ЛІТЕРАТУРА.....	58

ВСТУП

Одним із найважливіших резервів підвищення ефективності залізничного транспорту є зниження тривалості простою вантажних вагонів у позаплановому ремонті. Однак, як показує практика експлуатації, незважаючи на постійне вдосконалення системи технічного обслуговування та ремонту, значна частина життєвого циклу вантажних вагонів витрачається на непродуктивне перебування у ремонтах різних видів. З аналізу причин надходження вантажних вагонів у позаплановий ремонт видно, що однією з основних є відмова різних елементів буксового вузла, а саме зношування опорних поверхонь букси та буксового отвору бокової рами, ослаблення торцевого кріплення буксового підшипника, знос і руйнування роликів та поверхні кочення кілець буксового підшипника та ін. Шляхами удосконалення буксових вузлів рухомого складу для міжнародних перевезень є застосування більш надійних і довговічних матеріалів, покращення конструкції підшипників, зменшення тертя, покращення системи змащування, а також використання датчиків для контролю за роботою буксових вузлів.

Крім того, існують різні методи та технології, які можуть допомогти у покращенні роботи буксових вузлів. Наприклад, використання пневматичних ресор, встановлення датчиків для контролю за температурою та вібрацією, а також застосування нових методів діагностики та моніторингу стану буксових вузлів.

У зв'язку з цим у практиці та теорії вагонобудування як раніше, так і зараз актуальною є проблема вдосконалення буксових вузлів вантажних вагонів.

Об'єктом дослідження в даній роботі є буксовий вузол рухомого складу.

Предметом дослідження являються шляхи та методи удосконалення буксових вузлів рухомого складу для міжнародних перевезень.

РОЗДІЛ 1

ПРИЗНАЧЕННЯ, КОНСТРУКЦІЯ ТА ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ БУКСОВОГО ВУЗЛА

1.1. Типи буксових роликотпідшипників

Буксові вузли забезпечують передачу навантаження від кузова вагона на шийки осей і обмежують поздовжні та поперечні переміщення колісної пари відносно візка. Разом з колісними парами є найбільш відповідальними елементами ходових частин вагона.

У буксах колісних пар вагонів, тепловозів, електровозів залізничного транспорту застосовують роликотпідшипники, що представлені на (рис. 1.1).

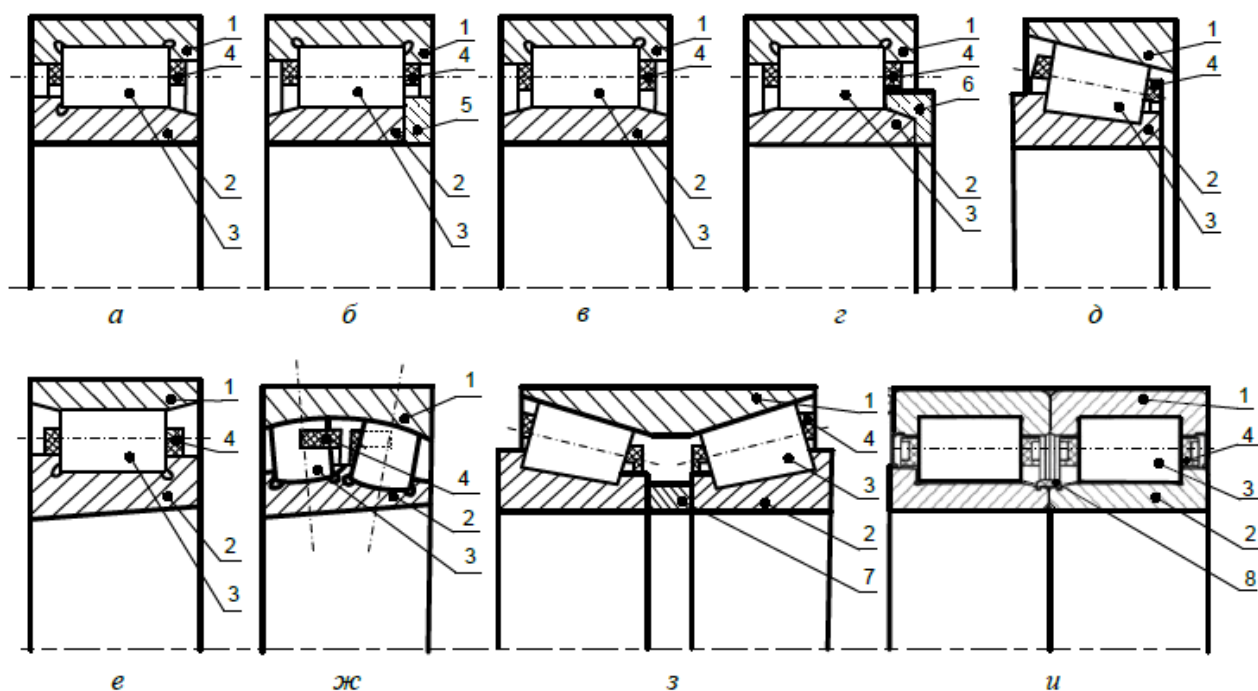


Рисунок 1.1 – Типи буксових роликотпідшипників вагонів та локомотивів: *a, б* – однорядні з циліндричними роликами та циліндричним отвором (для букс вагонів); *в, з* – однорядні з циліндричними роликами та циліндричним отвором (для букс локомотивів); *д* – однорядний з конічними роликами та циліндричним отвором (для букс вагонів); *е* – однорядний з циліндричними роликами та конічним отвором (для букс вагонів); *ж* – дворядні зі сферичними роликами та конічним отвором (для букс вагонів та локомотивів); *з* – дворядні з конічними роликами (для букс вагонів); *и* –

здвоєний з циліндричними роликами (для букс вагонів); 1 – зовнішнє кільце; 2 – внутрішнє кільце; 3 – ролик; 4 – сепаратор; 5 – упорне плоске кільце; 6 – упорне фасонне кільце; 7 – дистанційне кільце; 8 – монтажне кільце

Циліндричні роликопідшипники з розташуванням сепараторів по зовнішніх кільцях являють собою роз'ємну конструкцію: підшипники відкритого виду (рис. 1.1, *в, е*) не сприймають осьові навантаження, оскільки мають необмежене взаємне осьове переміщення кілець, а підшипники напівзакритого виду (рис. 1.1, *а, б, з*) сприймають осьові навантаження, що діють тільки в одному напрямку.

У підшипників на гарячій посадці циліндричні ролики виготовляються з раціональним контактом – для попередження шкідливого впливу кромкових тисків від перекосу букси та прогину шийки осі. Радіальне навантаження, що припадає на ролик по всій його довжині, повністю сприймається поверхнею кочення, а осьові навантаження, що виникають в процесі експлуатації, сприймаються торцями роликів. Для зниження зносу з'єднання «торець ролика - борт кільця» на робочих поверхнях бортів кілець виконаний розвал, а торці роликів виготовляють сферичними та плоскими з радіусним переходом до циліндричної поверхні.

Вітчизняні циліндричні роликопідшипники букс вагонів випускають як з латунними, так і поліамідними сепараторами, де кількість вікон збільшена (на одне). Як і латунні, поліамідні сепаратори мають рамну (масивну) конструкцію і завдяки технологічним порожнинам і поглибленням на кільцях здатні утримувати в більшій кількості мастильний матеріал.

Циліндричні буксові роликопідшипники прості у виготовленні, вартість їх нижча за інші типи, але в порівнянні зі сферичними вони вимагають більшої точності складання та ретельного підбору за радіальними зазорами. У разі відсутності суворої співвісності зростають кромкові тиски роликів на ділянки кочення кілець, що різко знижують ресурс підшипника. Ці підшипники мають обмежену працездатність при осьовому навантаженні, що залежить від величини

та тривалості осьової сили, частоти обертання та умов змащення торцевого контакту.

У дворядних сферичних роликотідшипників для кожного ряду роликів є власний сепаратор. За формою тіл кочення ролики бувають у вигляді симетричної та несиметричної бочок. Остання форма ролика сприяє меншому їх проковзуванню, проте має знижений в 2...3 рази ресурс по контактним напруженням. Зовнішнє кільце має одну сферичну ділянку кочення, а внутрішнє – дві сферичні ділянки, розділені середнім напрямним бортом. Значні радіальні та осьові навантаження, нечутливість до деформації шийки осі та робота в умовах значних (до 2°) перекосів – значна перевага таких підшипників. Недоліки дворядних сферичних підшипників пов'язані з їх посадкою: втулкова посадка сферичних і циліндричних роликотідшипників у порівнянні з гарячою посадкою підвищує ймовірність розриву внутрішніх кілець і появи тріщин в шийці осі, а монтажно-демонтажні операції двох сферичних роликотідшипників технологічними труднощами.

Однорядні конічні підшипники є роз'ємними, що дозволяє вести роздільний монтаж зовнішніх і внутрішніх кілець подібно до циліндричних роликотідшипників. Ролики виконують з «бомбіною» їх поверхонь кочення, торець роликів – сферичний для зниження тертя по бортах внутрішніх кілець; сепаратор металевий або полімерний із розташуванням по тілах кочення. Однорядні конічні роликотідшипники при монтажі та в процесі експлуатації потребують ретельного регулювання осьових зазорів. Наявність зазорів, що не відповідають нормам, призводить до неприпустимого нагрівання підшипника та руйнування деталей.

Дворядні конічні роликотідшипники касетного типу (ТВU), які застосовуються для буксових вузлів колісних пар вантажних вагонів, фіксують переміщення в осьовому напрямку в обох напрямках. Такі підшипники не потребують регулювання; вони виготовляються з внутрішнім попереднім натягом за рахунок підшлифовування, наприклад, торців внутрішніх кілець і під

час монтажу не регулюються. У разі утворення в процесі експлуатації надмірних зазорів їх також можна зменшувати шляхом підшліфування торців дистанційних кілець. Загальний недолік будь-яких конічних роликотітшипників – необхідність регулювання зазорів через неминучий знос деталей.

Альтернативою дворядним конічним роликотітшипникам касетного типу є здвоєний тітшипник із циліндричними роликами (дуплекс-CRU) для буксових вузлів колісних пар вантажних та пасажирських вагонів. У буксі з тітшипниками дуплекс-CRU відсутній слабкий елемент типового тітшипникового вузла – приставне кільце тітшипника типу 42726, полегшуються умови роботи торцевого кріплення. Конструкція здвоєного тітшипника повністю взаємозамінна з типовими серійними однорядними циліндричними роликотітшипниками. CRU-дуплекс поставляється споживачеві в зібраному вигляді, заповнений мастилом і скомплектований за зазорами і розмірами отворів внутрішніх кілець. Для нових тітшипників застосовується імпортне високоефективне пластичне мастило, яке має забезпечити надійну роботу тітшипникового вузла. Однак, при цьому зберігається загальна нестача циліндричних роликотітшипників у типових буксових вузлах вантажних і пасажирських вагонів – сприйняття значних за величиною динамічних осьових навантажень торцями роликів і бортами кілець, що не виключає можливості їх передчасного виходу з ладу за задирами після втрати несучої здатності змащувальної плівки.

Інтерес споживача до нових тітшипникових вузлів (TBU, CRU) колісних пар вагонів полягає головним чином у продовженні міжремонтного терміну експлуатації та забезпеченні їх ремонту підприємством-виробником. Вагонне господарство залізничного транспорту звільняється від значних витрат і отримує перспективу подальшого розвитку.

1.2. Типи тітшипникових вузлів букс колісних пар

Для масового обладнання вітчизняних пасажирських і вантажних вагонів як типове з технічних (велика довговічність, менший момент тертя), технологічних

(простіший і легший монтаж, демонтаж, промивка, огляд), економічних (нижча вартість) міркувань [1-2] більш ніж півстоліття прийнятий підшипниковий вузол букс колісних пар з установкою двох циліндричних роликів підшипників типу 2726 на гарячій посадці (рис. 1.2, *а, б*).

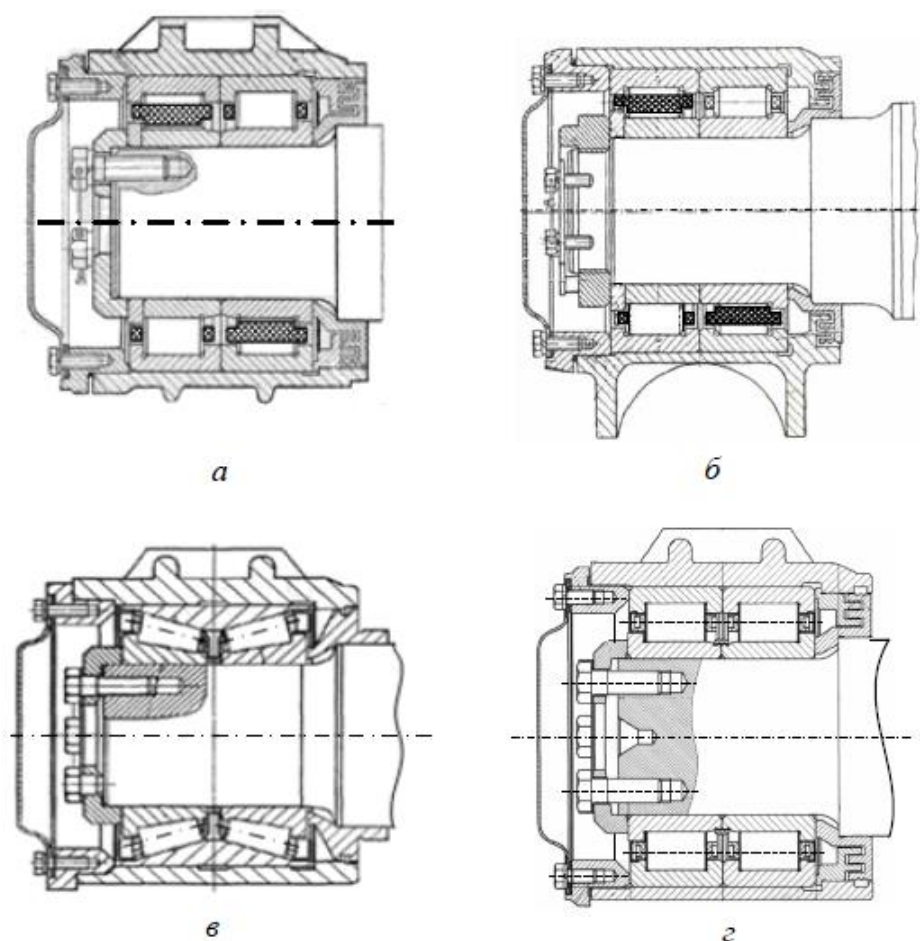


Рисунок 1.2 – Букси з роликопідшипниками на гарячій посадці: *а* – типова для вантажних вагонів; *б* – типова для пасажирських вагонів; *в* – дослідна для вантажних вагонів; *г* – дослідна для вантажних та пасажирських вагонів

Характерною особливістю прийнятого варіанта підшипникового вузла є установка підшипників впритул один до одного без проміжних дистанційних кілець, що дає можливість укоротити шийку осі і знизити вплив деформації вигину на розподіл навантаження вздовж утворюючих роликів, а також підвищити міцність осі. Кріплення підшипників на осі здійснюється торцевою шайбою (рис. 1.2, *а*) або гайкою (рис. 1.2, *б*). Ущільнення букси складається з

лабіринтів, розташованих у лабіринтному кільці з посадкою на осі, та лабіринту корпусу пасажирської букси або відокремленого лабіринту для корпусу вантажної букси. Модернізація корпусів букс (в основному вантажних вагонів) проводилася в напрямку варіювання жорсткості верхнього склепіння за рахунок зміни його перерізу, утворення приливів та ребер жорсткості, введення порожнин різної конфігурації та встановлення в зоні навантаження пружних (гумових) елементів [3].

Крім зазначених типових підшипникових вузлів вагонів, в експлуатації є ще два варіанти розміщення підшипників на посадці втулки [1], показаних на (рис. 1.3, *а, б*).

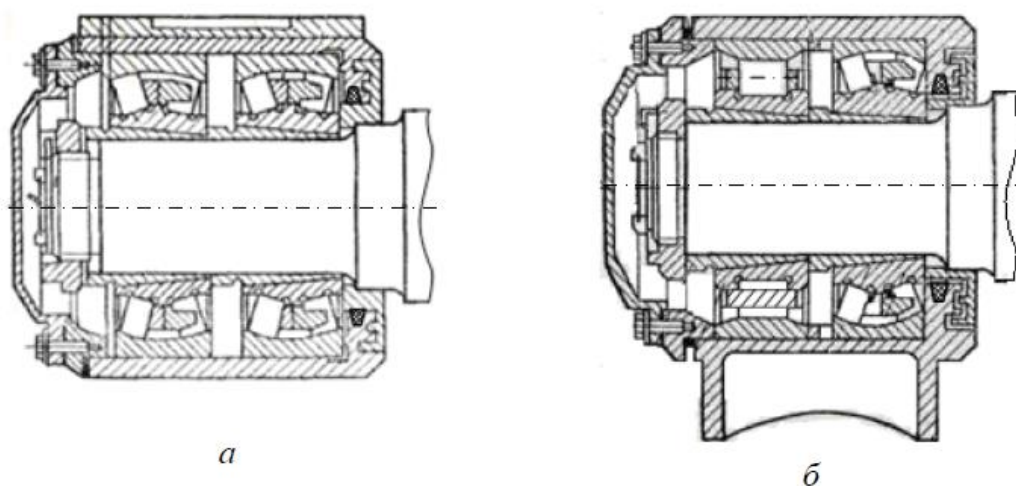


Рисунок 1.3 – Букси вагонів з роликотідшипниками на посадці втулки: *а* – з двома сферичними роликотідшипниками; *б* – зі сферичним та циліндричним роликотідшипниками

З 1998 року в Україні проводять роботи зі створення буксового вузла підвищеної надійності. Після комплексу досліджень для колісних пар вагонів запропоновано буксові вузли, представлені на (рис. 1.2, *в, г*). Відмінна особливість буксового вузла (рис. 1.2, *в*) – використання дворядного конічного роликотідшипника і відсутність звичного лабіринтного ущільнення [4]. Підшипник має власне ущільнення, що спрощує конструкцію буксового вузла. Головною перевагою дворядних конічних роликотідшипників є те, що радіальна

та осьова сили практично цілком сприймаються поверхнями кочення роликів. Відмінною особливістю буксового вузла за (рис. 1.2, з) є використання здвоєного циліндричного роликотпідшипника з додатковим до лабіринтного власних ущільнень. Складання, змащування та герметизація підшипників за (рис. 1.2, в і з) здійснюється заводом-виробником, а монтаж підшипників на шийку осі проводиться запресуванням. Це скорочує трудомісткість монтажу, усуває втручання часом недостатньо кваліфікованого обслуговуючого персоналу, унеможливує проведення проміжних ревізій, сприяє збільшенню терміну експлуатації між повними ревізіями.

Буксові вузли локомотивів відрізняються великою різноманітністю конструктивних елементів, що передають силу тяги, та способами спрямування корпусів у рамі візка, а також типами підшипників [5].

«Щелепні» букси, які утримуються і направляються в рамі візка виступаючими елементами корпусу («щелепами»), мають істотні недоліки, які складаються з підвищеного зносу напрямних, що у свою чергу зумовлює знос бандажів і рейок. Тому «щелепні» букси витісняються «повідковими», які забезпечують безперешкодність вертикальних переміщень, пом'якшення поздовжніх і поперечних поштовхів, покращують динамічні якості візка. Використовуються також буксові вузли з балансирами, що жорстко з'єднують дві букси кожної сторони двовісного візка. Вони не мають частин, що зношуються, зберігають паралельність осей і сприяють зниженню зносу рейок. Крім того, застосовують букси з циліндричними напрямними, що забезпечують точний напрямок колісної пари, та інші конструкції.

У буксах вітчизняних тепловозів та електровозів останніх років побудови встановлюють циліндричні роликотпідшипники (рис. 1.4). У «щелепній» буксі локомотивів з циліндричними роликотпідшипниками (рис. 1.4, а) радіальне навантаження передається на корпус, осьове – сприймається осьовим упором. Торцева шайба переднього підшипника не схильна до дії осьових сил, а служить для запобігання сповзанню букси з осі при транспортуванні та під час

монтажних робіт. У двоповідковій буксі (рис. 1.4, б) з циліндричними роликотідшипниками і пластичним мастилом осьові навантаження сприймаються резинопружинним демпфером.

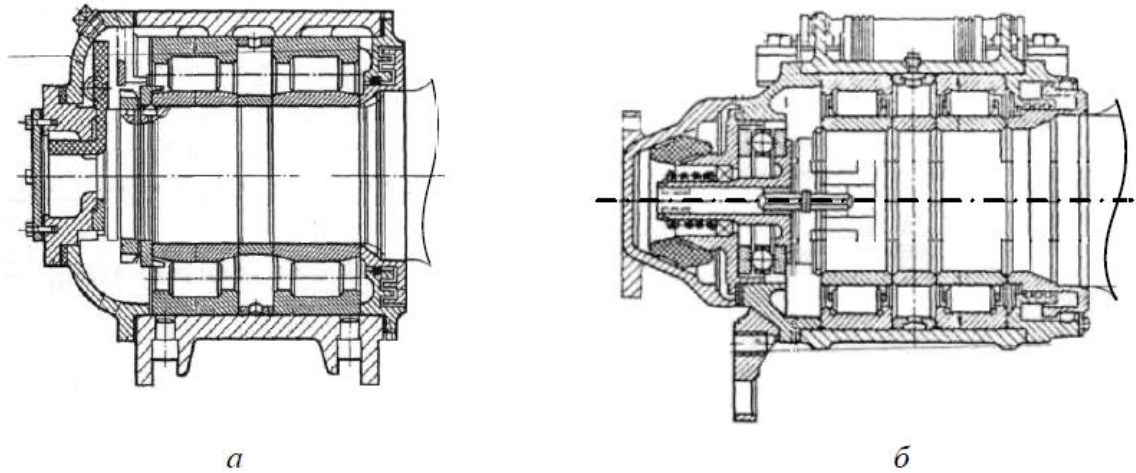


Рисунок 1.4 – Букси локомотивів з циліндричними роликотідшипниками

Конструкцій букс із сферичними роликотідшипниками значно менше, а з однорядними конічними – взагалі у край обмежено.

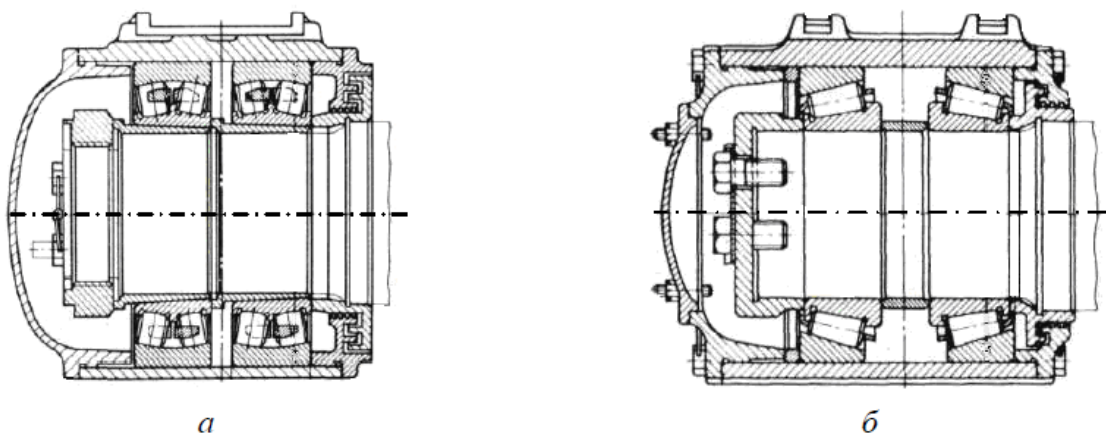


Рисунок 1.5 – «Щелепні» букси локомотивів

Чотири ряди роликів у буксах з двома дворядними сферичними роликотідшипниками на посадці втулки являють собою статично невизначену систему, що знаходиться під дією радіального і осьового навантаження (рис. 1.5, а). Насправді наявність неточностей у підшипниках і буксовому вузлі сприяє

нерівномірному розподілу навантаження між рядами роликів, що знижує ресурс таких підшипників.

Основним недоліком букси з однорядними конічними роликотпідшипниками (рис. 1.5, б) є складність регулювання осьового і радіального зазорів, які в конічних підшипниках взаємопов'язані.

Висновки до розділу 1

- розглянуто типи роликотпідшипників та особливості їх роботи;
- відзначено, що правильне технічне утримання та своєчасне проведення діагностування буксового вузла сприяє продовженню міжремонтного терміну його експлуатації та забезпеченню безпеки руху;
- наведено переваги та недоліки різних типів підшипникових вузлів букс колісних пар вагонів та локотивів.

РОЗДІЛ 2

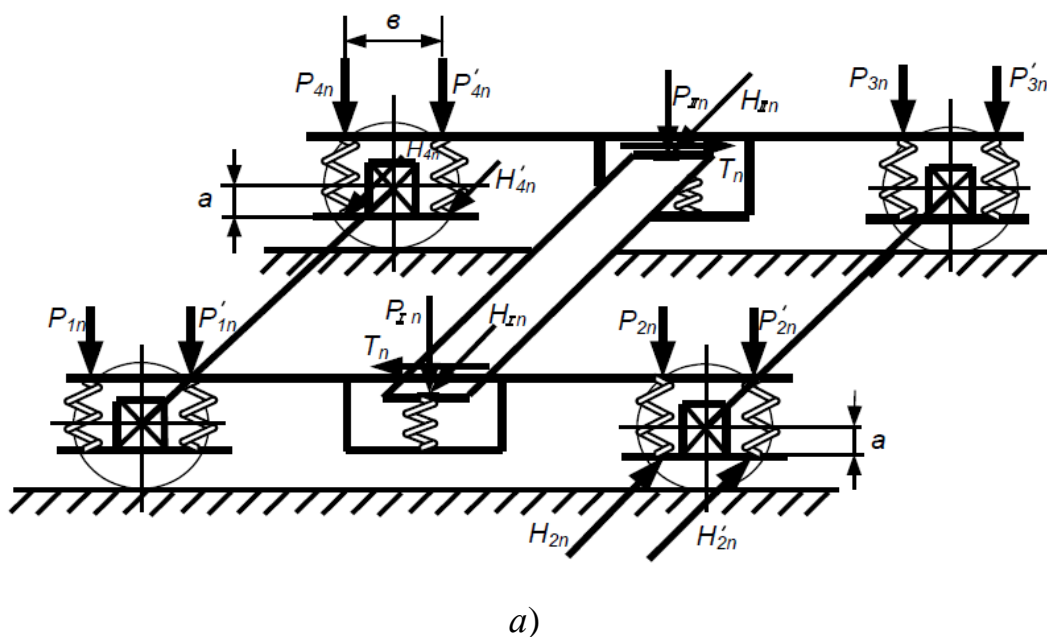
УМОВИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ РОЛИКОПІДШИПНИКІВ ТА ЇХ ХАРАКТЕРНІ НЕСПРАВНОСТІ

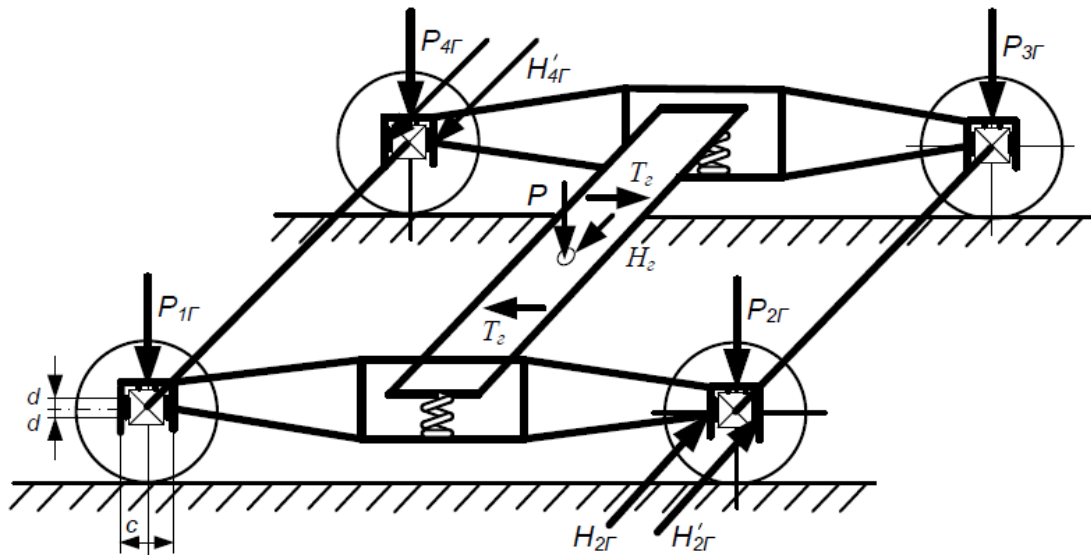
2.1. Умови експлуатації роликопідшипників

Підшипникові вузли букс колісних пар вагонів та локомотивів відносять до опор важких режимів експлуатації [6]. Умови їх роботи багато в чому визначаються конструкцією ходових частин буксового вузла, експлуатаційними, кліматичними та іншими особливостями [7].

В особливо складних умовах знаходяться підшипники вантажних та пасажирських вагонів. Несприятливі умови роботи підшипників букс колісних пар спостерігаються під час руху вагона по криволінійній ділянці колії [2], для якої наведено схеми передачі навантаження від кузова пасажирського та вантажного вагонів через рами двовісних візків на букси (рис. 2.1).

На (рис. 2.1) сили: P_{ln}, P_{lln} і P_{lr}, P_{llr} – складові вертикального навантаження від дії кузова пасажирського та вантажного вагона на обидві сторони візка $P_{ln} \neq P_{lln}$, $P_{lr} \neq P_{llr}$; сили $P_{1n} \dots P_{4n}, P'_{1n} \dots P'_{4n}$ і $P_{1r} \dots P_{4r}, P'_{1r} \dots P'_{4r}$ – складові на кожен буксовий вузол візка сил P_{ln}, P_{lln} і сил P_{lr}, P_{llr} .





б)

Рисунок 2.1 – Схеми передачі навантаження на букси двовісного візка під час руху кривою ділянкою колії: *a* – від кузова пасажирського вагона через ковзуни; *б* – від кузова вантажного вагона через підп'ятник

Нерівність останніх сил обумовлена різною величиною прогинів рейок під колесами, різною граничною жорсткістю та висотою пружин ресор буксового підвішування, відхиленнями розмірів колісних пар, їх зносами та допусками на виготовлення. Сили інерції при гальмуванні та відповідні гальмівні сили викликають додаткове нерівномірне радіальне навантаження букс вагонів.

Отже, умови передачі навантаження від пасажирського та вантажного вагона на букси такі, що останні навантажені неоднаково як вертикальними (радіальними), і горизонтальними (осьовими) силами. При цьому радіальне навантаження нерівномірно розподіляється між парою підшипників у буксі навіть після ретельного їх підбору через труднощі врахування деформації шийки осі, величин радіальних зазорів, похибок геометричної форми деталей підшипників. Осьові сили діють на букси пасажирського вагона з фіксованим ексцентриситетом *a*, що визначається конструкцією букси (рис. 2.1), а буксові вузли вантажних вагонів у переважній більшості випадків також працюють в

умовах позацентрового осьового навантаження, але з невизначеною величиною ексцентриситету [8].

Таким чином, на циліндричні роликopідшипники букс вагонів, по-перше, діють різні за величиною радіальні та осьові сили і, по-друге, сили прикладені до підшипників позацентрово. Ці особливості навантаження роликopідшипників можуть призводити до перекосів кілець.

Надалі для визначеності слід розрізняти «вільний», «граничний» та «експлуатаційний» кут перекосу кілець [9]. «Вільний» кут перекосу кілець виникає в ненавантаженому підшипнику при повороті внутрішнього кільця відносно зовнішнього на величину, що допускається радіальним зазором. «Граничний» кут перекосу кілець виникає в навантаженому підшипнику при повороті внутрішнього кільця відносно зовнішнього на величину, що допускається радіальним зазором і контактною деформацією деталей. «Експлуатаційний» кут перекосу кілець виникає в навантаженому підшипнику при повороті внутрішнього кільця відносно зовнішнього на величину, що визначається контактною деформацією деталей та частиною радіального зазору.

Можливість перекосу букси пасажирського вагона відносно колісної пари як у процесі руху через позацентрово прикладені радіальні та осьові сили, так і при гальмуванні внаслідок розвороту колісної пари через неоднаково зношені гальмівні колодки відзначалася в роботах.

Миттєві «експлуатаційні» перекоси підшипникового вузла у вертикальній площині можуть виникати внаслідок динамічного ударного характеру навантаження, коли вертикальні прискорення букси досягають 50g. Подібні вертикальні прискорення викликають коливання маси редуктора з корпусом букси на торці шийки осі, що призводить до появи значних (до 60 кН) осьових сил, що руйнують борти кілець. Істотне збільшення осьової сили (до 50 кН) на буксові роликopідшипники, викликане ударною взаємодією колісної пари з рейкою в зоні стикового з'єднання та стрілочних переводів, зазначається також у роботі.

Можливість появи «експлуатаційних» перекосів підшипникових вузлів букс пасажирського вагона при виляючому русі колісної пари, при гальмуванні поїзда, проходженні стрілочних переводів і кривих ділянок колії показано в роботі [10].

Вперше проведені в роботі [10] вимірювання перекосів букс як у вертикальній, так і горизонтальній площині при одночасній реєстрації горизонтальних (осьових) і вертикальних (радіальних) сил не тільки підтвердили складні умови роботи підшипникових вузлів пасажирського вагона, але й дозволили обґрунтовано виконати фізичне моделювання кінематики та динаміки деталей циліндричних роликотидшипників типу 2726.

Зміна вертикального (радіального) навантаження та поява горизонтального (осьового) навантаження на буксі вагона в експлуатації залежить від багатьох факторів: розподілу маси вагона, параметрів ресорного підвішування, стану ходових частин вагона, нерівностей та пружних властивостей колії, швидкості руху.

Радіальне статичне навантаження R на буксі вантажного вагона досягає 97,5 кН, пасажирського – 85 кН. Радіальне динамічне навантаження на буксі вантажного вагона змінюється в межах $(0,16...1,8)R$ з характерними значеннями $(0,83...1,16)R$, що охоплюють до 95% спектра навантажень. Радіальне динамічне навантаження на буксі пасажирського вагона змінюється в межах $(0,67 ... 1,4)R$ з характерними значеннями $(0,92 ... 1,08)R$, що охоплюють до 90% спектра навантажень. Горизонтальне (радіальне) навантаження, що виникає при гальмуванні вагона, діє короткочасно і не перевищує $0,3R$ для вантажних вагонів та $0,15R$ для пасажирських. Середні значення осьових навантажень за результатами поїздних випробувань пасажирського вагона згідно [11] зростають у міру збільшення швидкості руху, причому вони діють періодичними ударами, тривалість яких обчислюється десятими долями секунди. Наприклад, при швидкостях поїзда 45...56 м/с (160...200 км/год) повторюваність діапазону осьових сил 10...15 кН становила в середньому 25%, при швидкостях 28...56 м/с

(100...200 км/год) діапазон осьових сил 5...10 кН мав середню повторюваність 47%. Найбільші осьові сили в діапазоні 20...25 кН були зафіксовані за швидкості 45 м/с (160 км/год) з повторюваністю 0,4 %. За даними роботи [7] характерними значеннями осьових сил для вантажних вагонів є 2-7 кН, для пасажирських – 2-4 кН. Таким чином, значний діапазон величин осьових сил, що діють на роликотідшипники букс вагонів (2...60 кН), пояснюється як впливом багатьох факторів, що важко враховуються, так і складністю їх вимірювання в умовах експлуатації.

Величина максимального статичного навантаження на букси тепловозів та електровозів менше, ніж на букси вантажних вагонів. Наприклад, у локомотивів 2ТЕ10Л, ТЕП60, ВЛ60 найбільше радіальне статичне навантаження на буксі не перевищує 93 кН [7]. Динамічна складова вертикального радіального навантаження також менша (динамічний коефіцієнт дорівнює 1,37...1,6). Найбільші вертикальні прискорення букс локомотивів становлять 12g, що також менше, ніж букс вантажних вагонів.

На відміну від підшипників вагонів, буксові підшипники локомотивів зазнають ще й радіального горизонтального навантаження від сили тяги. Це навантаження, наприклад, на електровозі ВЛ60 може досягати 37 кН. Радіальні навантаження від сили тяги та ваги локомотива, підсумовуючи, збільшують загальне навантаження на підшипниковий вузол в середньому на 5...10% порівняно з вертикальним статичним навантаженням. Осьові сили при русі по прямій у локомотивів з тривісними візками можуть досягати 55 кН і мають пульсуючий характер; при русі по кривим величина поштовхів зростає, інколи ж утворюється короткочасна стала осьова сила.

2.2. Особливості роботи деталей та основні види пошкоджень

Кінематичні співвідношення в ідеальному підшипнику кочення визначають без урахування впливу багатьох факторів: реальної геометрії деталей, проміжків у підшипнику, змащування, складного характеру навантаження. Не знаючи

фактичної кінематики роликотидшипника, неможливо адекватно оцінити зносостійкість та міцність його деталей.

На зносостійкість роликотидшипників істотно впливає ковзання роликів по поверхням кочення кілець. Можливі види ковзання у буксових роликотидшипниках на поверхнях кочення кілець представлені на (рис. 2.2).



Рисунок 2.2 – Види ковзання на поверхнях кочення кілець буксових роликотидшипників

Ковзання з постійним напрямком осі обертання ролика характерно для циліндричних роликотидшипників, а зміна напрямку осі обертання – для конічних та сферичних роликотидшипників. Наслідком зміни напрямку осі обертання роликів у просторі є їхнє гіроскопічне ковзання по ділянках кочення кілець.

Слід відзначити, що усі види буксових роликотидшипників сприймають місцеве та геометричне ковзання. При місцевому ковзанні зона контакту має ділянки ковзання та зчеплення, при геометричному ковзанні ділянка зчеплення відсутня і тоді спостерігається проковзування роликів.

Пружне ковзання поверхонь кочення кілець і роликів виникає через відмінність по кривизні, формі та пружним характеристикам матеріалів. Експериментальні дослідження підшипників показали, що в процесі обкатування металевих деталей з одного матеріалу це ковзання незначне.

Вплив неточності виготовлення деталей на величину проковзування роликів буксових роликотидшипників не встановлено.

Перекуси кілець роликотидшипників сприяють утворенню перекосів роликів, які суттєво змінюють кінематику та силову взаємодію деталей. На (рис. 2.3) показані можливі положення, наприклад, циліндричних роликів після їх перекоосу між кільцями роликотидшипника.

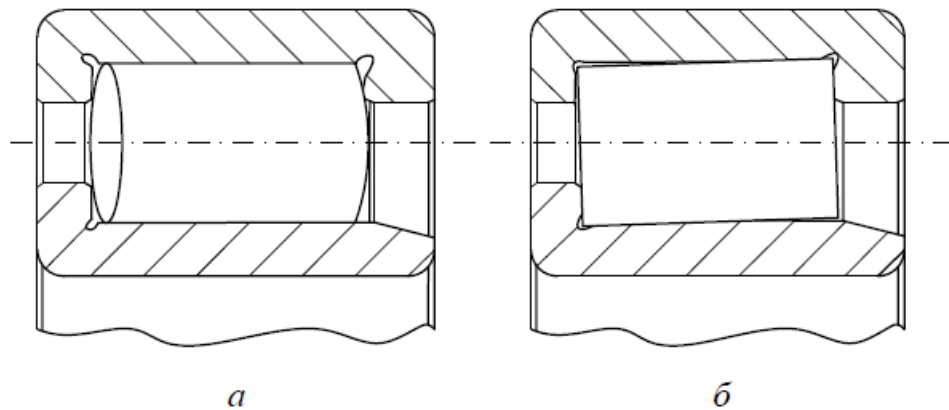


Рисунок 2.3 – Схеми контактування перекошеного ролика: *a* – у горизонтальній площині з бортами кілець; *б* – у вертикальній площині з поверхнями кочення кілець

У перекошеного в горизонтальній площині циліндричного ролика його торці контактують з бортами кілець не всією площиною, а по відношенню до них під гострим кутом. Під дією осьових сил на місці контакту виникають високі питомі навантаження, оскільки площа зіткнення мінімальна (точковий контакт). Такий випадок контакту подібний до схеми різання, де функцію різця з гострим кутом різання виконує напрямний борт за відсутності його розвалу. Поєднання високих тисків з великими швидкостями відносного переміщення поверхонь кілець і роликів з однакового металу неминує створює умови заїдання і

схоплювання робочих поверхонь. Шар мастила перестає розділяти поверхні ковзання, і кінцеві результати цих процесів можуть бути різними: у кращому випадку з'являються незначні задираки, у гіршому – тріщини бортів, які надалі можуть призвести до виникнення відколів металу, попадання їх між тілами кочення та руйнування всього підшипника.

Надзвичайно важкі умови навантаження та зазначені особливості експлуатації циліндричних роликотпідшипників букс колісних пар вагонів призводять до різноманітних видів пошкодження деталей. Діаграма розподілу видів несправностей циліндричних роликотпідшипників букс колісних пар пасажирських та вантажних вагонів за результатами обстежень, проведених співробітниками Української державної академії залізничного транспорту [12], наведено на (рис. 2.4).

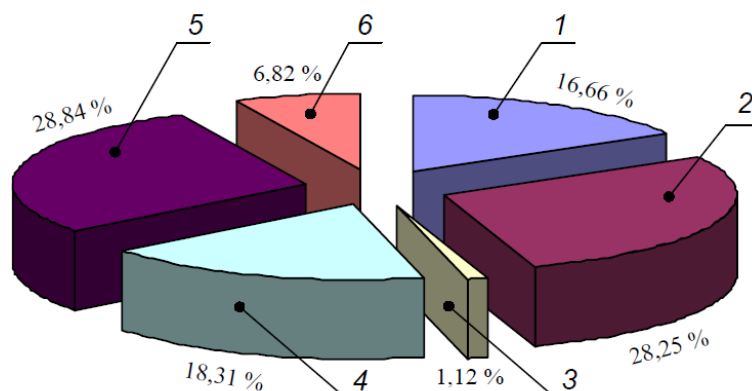


Рисунок 2.4 – Розподіл несправностей роликотпідшипників типу 2726: 1 – втомні пошкодження кілець та роликів; 2 – корозійні пошкодження кілець та роликів; 3 – тріщини кілець та роликів; 4 – знос та порушення латунного сепаратора; 5 – знос торців роликів та бортів кілець; 6 – інші пошкодження

Задири на торці ролика і торцевих поверхнях бортів зовнішніх кілець свідчать про наявність великих контактних напружень, які обумовлені осьовими силами, що діють на підшипники. Задири на бортах кілець, які локалізуються з боку входу роликів у зону навантаження підшипника, іноді призводять до появи втомних тріщин.

Продукти зношування від задирих поверхонь тертя деталей можуть бути

причиною контактних деформацій (вм'ятин) кілець. У свою чергу вм'ятини як джерело додаткової вібрації підшипника призводять до розвитку передчасного викришування ділянок кочення. Електроопіки та знос часто є наслідком невідповідності технічних характеристик мастильного матеріалу умовам експлуатації та недостатньо надійного захисту підшипника від впливу навколишнього середовища. Зношування базуючих поверхонь бортів зовнішніх кілець від взаємодії з сепаратором локалізується в ненавантаженої радіальною силою зоні підшипника, причому з різною інтенсивністю на бортах.

Абразивний знос поверхонь тертя кілець і тіл кочення виникає внаслідок проникнення сторонніх частинок навколишнього середовища (абразив, волога), втрати несучої здатності мастила та утворення металевих продуктів зносу.

Причиною викришування контактуючих поверхонь можуть бути дефекти матеріалу, локальне зниження твердості внаслідок перегріву або корозії металу.

Корозія деталей підшипника – одна з причин скорочення їхнього ресурсу. Оксиди, перебуваючи на ділянках кочення кілець, діють як абразивні частинки, прискорюючи зношування та протікання втомних процесів. Найбільш частими причинами появи корозії є наявність у мастильному матеріалі води внаслідок недостатньої надійності ущільнень або в результаті конденсації вологи з повітря при перепадах температури, а також окислення (старіння) мастила.

Фретинг-корозія – це особливий вид інтенсивного окислення деталей, які знаходяться в контакті при повторних досить малих взаємних переміщеннях. Особливо часто фретинг-корозія з'являється на посадкових поверхнях зовнішніх кілець підшипників у буксах вагонів. Мастильний матеріал, який був між кільцями та корпусом букси, поступово вичавлюється із зони контакту. Внаслідок пластичної деформації мікронерівностей контактуючих деталей, що періодично повторюється, змінюється їх шорсткість з відділенням від поверхонь мікрочастинок металу. Продукти зношування, залишаючись в зоні контакту, інтенсивно окислюються і утворюють відкладення на поверхнях, що контактують, у вигляді рудих плям, які в міру зростання охоплюють майже

половину циліндричної поверхні кільця, що знаходиться в зоні навантаження підшипника. Фретинг-корозія може бути причиною появи втомних тріщин зовнішніх кілець та їх подальшого руйнування.

У деяких підшипників колісних пар вагонів, і навіть на окремих деталях існує кілька видів зносу. Наприклад, на окремих зовнішніх кільцях циліндричних роликотідшипників букс вагонів можна спостерігати одночасно викришування, вм'ятини ділянки, що знаходиться в межах зони радіального навантаження підшипника, задири торцевої поверхні бортів, абразивний знос базуючих сепаратора поверхонь бортів, фретинг.

Низька контактна витривалість та зносостійкість поверхонь тертя деталей циліндричних роликотідшипників букс колісних пар вагонів, що знаходяться в надзвичайно важких умовах експлуатації, може призвести до їх руйнування та створення аварійної ситуації на залізничному транспорті з найсерйознішими наслідками. Тому, підвищення зносостійкості деталей роликотідшипників букс вагонів та локомотивів безсумнівно є актуальним та важливим заходом для забезпечення безпеки руху рухомого складу залізниць.

Висновки до розділу 2

- досліджено умови експлуатації роликотідшипників;
- розглядаючи схему навантаження та буксові вузли пасажирського та вантажного вагона встановлено, що через різну величину прогинів рейок, різну граничну жорсткість та висоту пружин ресорного підвішування, відхилення розмірів колісних пар, складові вертикального навантаження на кожен буксовий вузол є різними;
- відзначено, що буксові підшипники локомотивів на відміну від підшипників вагонів, зазнають ще й радіального горизонтального навантаження від сили тяги;
- наведено розподіл несправностей роликотідшипників типу 2726, які виникають в період їх експлуатації;

РОЗДІЛ 3

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ РОЗРАХУНКУ БУКСОВОГО ПІДШИПНИКА

Довговічність підшипників з типовим розподілом навантаження між роликками в млн км пробігу розраховується за формулою:

$$L_n = \left(\frac{C_B}{P_e} \right)^{m_1} \cdot \pi \cdot D_k \cdot 10^{-3} \quad (1)$$

де C_B – динамічна радіальна вантажопідйомність підшипників;

P_e – еквівалентна сила;

m_1 – показник ступеня для роликових підшипників;

D_k – діаметр кола кочення середньозношеного колеса.

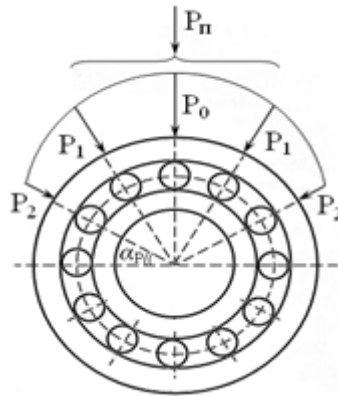


Рисунок 3.1 – Розрахункова схема навантаження роликового підшипника букси вагона

Динамічна радіальна вантажопідйомність:

$$C_B = f_c \left(i \cdot L_p \cdot \cos(\alpha) \right)^{\frac{7}{9}} \cdot z^{\frac{3}{4}} \cdot D_p^{\frac{29}{27}} \quad (2)$$

де f_c – коефіцієнт, що залежить від геометрії деталей підшипника, точності їх виготовлення та матеріалу;

i – число рядів тіл кочення в одному ряду для циліндричних роликів підшипників;

α – кут між лінією дії результуючого навантаження на тіло кочення і площиною перпендикулярної осі підшипника (кут утворює ролика)

для циліндричних підшипників;

z – кількість роликів у підшипнику;

D_p – діаметр тіла кочення (середній діаметр для конічного ролика);

L_p – фактична довжина контакту ролика з кільцем, (довжина ролика без фасок та канавок для виходу шліфувального круга);

Еквівалентна сила визначається за формулою:

$$P_e = P_{ст} \cdot k_d \quad (3)$$

де $P_{ст}$ – вертикальна статична сила, що діє на один підшипник;

k_d – коефіцієнт, що враховує динамічність застосування навантаження для вантажних вагонів

$$P_{ст} = \frac{1}{2 \cdot n_{п}} \cdot \left(\frac{P_{бр}}{m_0} - P_{кп} \right) \quad (4)$$

де $P_{бр}$ – сила ваги вагона брутто;

$P_{кп}$ – сила тяжіння колісної пари;

m_0 – кількість колісних пар під вагоном;

$n_{п}$ – кількість підшипників у буксі, що сприймають радіальні навантаження.

Контактні напруження ролика та кілець циліндричного підшипника визначаються з виразу:

$$\sigma_{вн} = 0,1925 \cdot \sqrt{\frac{P_p}{L_p} \left(\frac{2}{D_p} + \frac{1}{R_{вн}} \right)} \quad (5)$$

$$\sigma_{зов} = 0,1925 \cdot \sqrt{\frac{P_p}{L_p} \left(\frac{2}{D_p} - \frac{1}{R_{зов}} \right)} \quad (6)$$

де P_p – найбільше навантаження на ролик;

$R_{вн}, R_{зов}$ – радіуси доріжок кочення відповідно внутрішнього та зовнішнього кілець.

Розрахункове радіальне навантаження на найбільш навантажений ролик для

циліндричних підшипників (при типовому розподілі навантаження між роликami) визначається за формулою:

$$P_p = \frac{4,6 \cdot P_{ст}}{z} \quad (7)$$

Радіуси доріжок кочення визначаються:

для внутрішнього кільця

$$R_{вн} = 0,5 \cdot (D_{ц} - D_p) \quad (8)$$

для зовнішнього кільця

$$R_{зов} = 0,5 \cdot (D_{ц} + D_p) \quad (9)$$

Отже, прийнявши силу ваги вагона брутто – $9,81 \cdot 10^5$ Н, сила ваги колісної пари – 1,255 Н, кількість колісних пар під вагоном – 2шт, кількість підшипників у буксі, що сприймають радіальні навантаження – 2 шт, кількість роликів у підшипнику – 14, отримаємо:

$$C_b = 5,732 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

$$P_{ст} = 6,13 \cdot 10^4 \text{ Н}$$

$$P_e = 7,97 \cdot 10^4 \text{ Н}$$

$$L_{ц} = 2,03 \text{ млн. км.} \quad (1)$$

Розрахунок показав, що при осьовому навантаженні вагона довговічність підшипників більша за мінімально допустиме значення для вантажних вагонів.

Розрахункове радіальне навантаження на найбільш навантажений ролик для циліндричних підшипників складає – $20,145 \cdot 10^3$ Н.

Тоді напруження дорівнюватимуть:

$$\sigma_{вн} = 1038 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{зов} = 846 \text{ МПа}$$

Порівнюючи отримані значення напружень для підшипника з допустимими, можна сказати, що підшипники вантажного вагона при даному навантаженні мають достатню міцність, так як їх напруження не перевищують допустимих.

Висновки до розділу 3

– розглянуто математичну модель розрахунку буксового підшипника, враховуючи особливості експлуатації рухомого складу;

– встановлено, що при навантаженні на вісь 25 т, кількості підшипників у буксі, що сприймають радіальні навантаження – 2 шт, кількості роликів у підшипнику – 14 шт довговічність роликового підшипника складає 2,03 млн. км.

– досліджено, що при радіальному навантаженні на найбільш навантажений ролик за величиною $20,145 \cdot 10^3$ Н контактні напруження на внутрішнє та зовнішнє кільце становитимуть 1038 МПа та 846 МПа відповідно.

РОЗДІЛ 4

ВДОСКОНАЛЕННЯ ТА МОДЕРНІЗАЦІЯ БУКСОВИХ ВУЗЛІВ РУХОМОГО СКЛАДУ

4.1. Підшипникові вузли, що застосовуються для сучасного рухомого складу та перспективи їх розвитку

Як уже було відзначено, підшипники є найважливішою частиною буксового вузла. Буксові вузли розташовуються на шийках осі і перетворюють обертальний рух колісної пари на поступальний рух вагона. Вони сприймають і передають колісним парам силу ваги вагона, а також динамічні навантаження, що виникають при русі вагона по кривих ділянках колії, стрілочних переводах, нерівностях колії та стиках рейок, при гальмуванні, за наявності дефектів на поверхні кочення [13].

Основними параметрами підшипників, що характеризують їх призначення та якість, є:

- характеристики радіальних та осьових навантажень;
- максимальна швидкість обертання;
- розміри під посадки в буксовому вузлі;
- точність підшипників;
- характеристики змащувальних матеріалів;
- ресурс підшипників до появи ознак втоми, в обертах;
- наявність шумів і вібрації при роботі підшипників.

Буксовий підшипник – це складальний вузол, який є частиною опори та підтримує вал, вісь чи іншу рухливу конструкцію із заданою жорсткістю. Він також фіксує положення в просторі, забезпечує обертання, кочення або лінійне переміщення (для лінійних підшипників) з найменшим опором, сприймає та передає навантаження від рухомого вузла на інші частини конструкції, як у радіальному напрямку (перпендикулярно осі обертання підшипника), так і в осьовому напрямку (паралельно осі обертання підшипника).

Значний внесок у створення швидкісного рухомого складу (РС) зробили технології, запропоновані японськими компаніями, такими як NSK. Її продукція – це високоякісні підшипники букс, тягових двигунів та редукторів. У минулому вони використовувалися як обладнання для поїздів серії Н5. Значною мірою у цьому проекті приділялася увага безпеки та надійності РС, оскільки середня швидкість становила 320 км/год. Тому зрозуміло, чому було запропоновано найякісніші буксові підшипники (на той період), що характеризуються високими показниками. Залізничний оператор Hokkaido Railway підібрав комплект підшипників NSK, розроблених спеціально для жорстких вимог швидкісного руху. Для буксових підшипникових вузлів було обрано дворядні циліндричні роликові підшипники в масляній ванні, що відрізняються малим нагріванням навіть на високих оборотах і збільшеним експлуатаційним ресурсом.

Для захисту від пошкоджень, спричинених сильними струмами тягових електродвигунів, що мають імпульсний характер, вибрано ізольовані підшипники з діелектричним керамічним покриттям, що відрізняє нове покоління тягових двигунів від попередніх. Таке конструктивне рішення, яке добре зарекомендувало себе в експлуатації, суттєво підвищує працездатність як підшипників, так і двигунів.

Для збільшення терміну служби підшипників NSK використовує спеціальні матеріали, такі як сталь Z, EP та SHX. Сталь SHX має чудову стійкість до заїдання при дуже високих швидкостях. Підшипники NSK добре працюють на високих швидкостях завдяки використанню кульок із надвисокої сталі та високоефективних легких керамічних елементів підшипника. Для виготовлення сепараторів підшипників NSK використовують як широко поширені матеріали, наприклад, різні полімери (альдегідно-фенольні), поліаміди, так і нові спеціальні полімери, яким властиві такі переваги, як висока жорсткість і термостійкість, а також мала питома вага. Внаслідок цього вони надійно працюють за різних умов експлуатації, а сталь SHX, дозволяє збільшити довговічність підшипників при встановленні їх на швидкісний РС. Робоча температура в цих вузлах досягає 300°C. Крім високої

жароміцності, сталь SHX характеризується і невеликим коефіцієнтом тертя, гарною стійкістю до вм'ятини та всіма іншими характеристиками, необхідними для підшипників, що працюють в умовах надвисоких режимів.

У квітні 2007 року світовий рекорд швидкості для рухомого складу було встановлено високошвидкісним поїздом V150, який становив 574,8 км/год. На локомотиві даного поїзда потужністю 18400 кВт були встановлені буксові підшипники SNR.

Також для РС, що працює з високими швидкостями, були розроблені підшипники EG15, в конструкції яких були передбачені сепаратори зі склонаповненим поліамідом. Вони успішно працюють в умовах тривалої експлуатації з високими швидкостями у зонах з невеликими температурами та вібраціями (рис. 4.1). Особливості цих підшипників полягають у тому, що їх конструкція забезпечує:

- значну міцність сепаратора за рахунок високої гнучкості еластичних матеріалів, що використовуються в конструкції підшипника. Ці підшипники є дворядними із незалежними сепараторами;

- якість руху роликів забезпечується спеціальним сепаратором, виготовленим високоточним методом лиття;

- безперебійну якісну подачу в зону тертя мастила. У конструкції сепараторів для цього передбачені відповідні отвори. Істотну роль відіграє і невисокий коефіцієнт тертя завдяки застосуванню пари матеріалів – сталь і поліамід, що також позитивно позначається на істотному зниженні рівня шуму;

- хорошу стійкість до корозійних процесів, так як сепаратор стійкий до пошкоджень внаслідок попадання в підшипник води і до електрохімічних процесів, що виникають;

- тривалу роботу підшипника при впливі температури до 120°C і короткочасну – 150°C;

- можлива зміна внутрішнього діаметра отворів у діапазоні 25–400 мм.

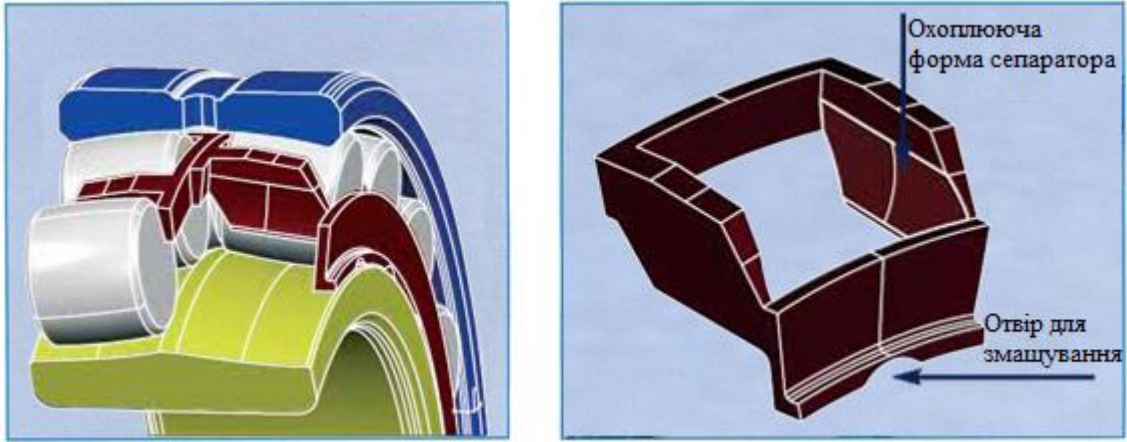


Рисунок 4.1 – Підшипники із сепаратором типу EG15

Крім того, широко застосовуються і підшипники типу EA, що мають сталевий сепаратор і призначені для «загального застосування», але вони також можуть використовуватися і у вузлах, що працюють на режимах з температурами понад 150°C та малими вібраціями (рис. 4.2).

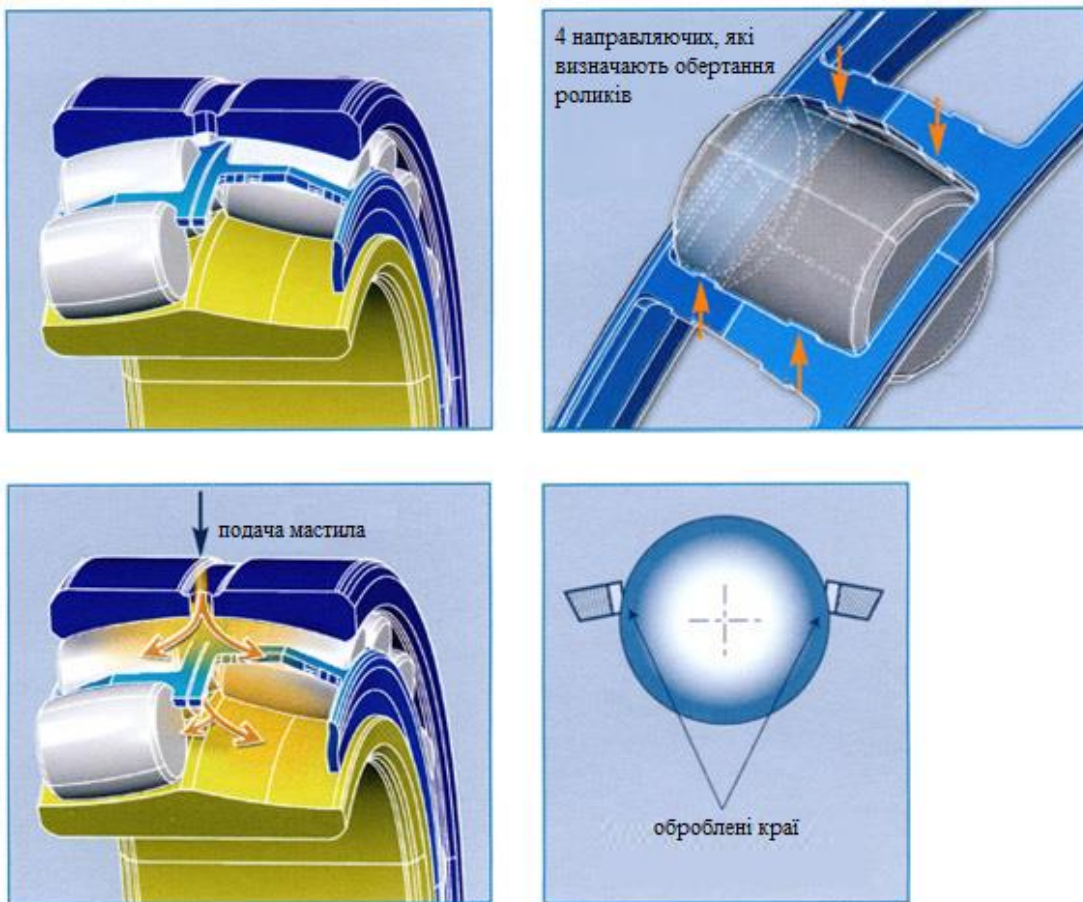


Рисунок 4.2 – Підшипники із сепаратором типу EA

Конструктивні особливості підшипника із сепаратором типу ЕА забезпечують:

- широкий температурний діапазон від мінус 60 до 200°С;
- точне позиціонування сепаратора відносно ділянки кочення внутрішнього кільця і площини підшипника, що обертається, за допомогою прецизійних напрямних роликів;
- точне центрування роликів підшипника здійснюється в сепараторі з чотирма напрямними, що гарантує ідеальне центрування елементів, що обертаються без додаткових компонентів;
- зменшення коефіцієнта тертя і зносу підшипника при роботі його на високих швидкостях за рахунок обробки поверхні підшипникового сепаратора (фосфатизація – масляне загартування);
- відмінне змащування всіх елементів конструкції внаслідок особливої форми сепаратора, що зберігає запас мастила в підшипнику та полегшує розтікання.

Підшипники із сепараторами типу ЕА стандартно виготовляються з діаметрами внутрішнього отвору від 25 до 400 мм.

Підшипники з латунним сепаратором типу ЕМ (рис. 4.3) спеціально розроблені для роботи в умовах високих температур (до 200°С) та важких експлуатаційних режимах (високі швидкості обертання, ударні навантаження, забруднення тощо).

Особливості підшипників із сепаратором ЕМ:

- міцна латунна обойма мінімізує вплив резонансу;
- пластична деформація латуні підвищує міцність та стійкість до ударних навантажень;
- самозмащувальні властивості матеріалу сепаратора знижують тертя при високих швидкостях обертання;
- бокові важелі розташовані на внутрішньому кільці підшипника, тому сепаратор знаходиться в центрі тіла, що обертається;

- контакт із кільцем сепаратора відсутній, що запобігає зв'язуванню підшипника через теплове розширення;
- термін експлуатації при вібрації в сім разів більше, ніж у підшипників зі сталевим сепаратором;
- постійна температура для роботи при високих температурах (до 200°C);
- поставляються у стандартному виконанні з діаметром отвору від 25 мм до 400 мм.

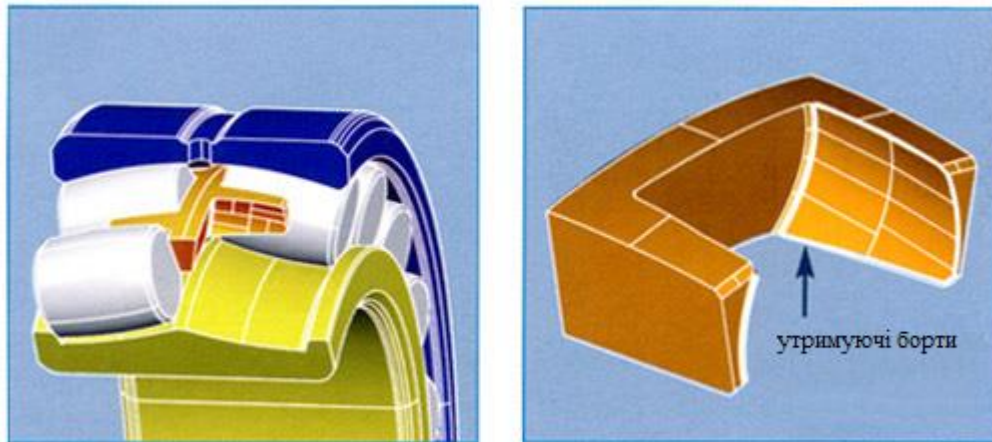


Рисунок 4.3 – Підшипники з латунним сепаратором типу EM

Дворядні конічні роликопідшипники із сепаратором використовуються у високошвидкісних поїздах TGV (Франція), ICE (Німеччина) та Talgo (Іспанія), які рухаються зі швидкістю від 200 до 350 км/год. (рис. 4.4).



Рисунок 4.4 – Загальний вигляд касетного підшипника

Дворядні картриджні підшипники з конічним роликосепаратором широко використовуються в системі приводу високошвидкісних залізничних транспортних засобів завдяки наступним перевагам:

– пристосованість до високих комбінованих навантажень, що забезпечує високу економіку палива і роботу залізничного транспорту в межах встановлених інтервалів технічного обслуговування;

– геометрія підшипника підходить для роботи на високих швидкостях;

– компактна конструкція;

– економічно ефективно централізоване технічне обслуговування.

Всі розглянуті та проаналізовані конструкції сучасних буксових вузлів мають свої переваги та успішно працюють на швидкісному рухомому складі. Проте прогрес не стоїть на місці, і вже сьогодні у європейській залізничній системі проходять тести локомотиви та вагони, що працюють на інтелектуальних підшипниках для колісних пар, із вбудованими датчиками, які вимірюють температуру, швидкість та прискорення.

На сьогоднішній день тепловий метод контролю буксових вузлів є основним методом контролю стану підшипникових вузлів на європейських та українських залізницях. Слід зазначити, що за допомогою теплового контролю неможливо на ранній стадії розвитку виявити такі дефекти буксового вузла, як тріщини в кільцях, роликах та сепараторах, які становлять суттєву загрозу безпеці руху поїздів.

На швидкісному транспорті проблема своєчасного виявлення несправностей підшипникових вузлів є вкрай актуальною, оскільки несправний підшипниковий вузол може призвести до збою графіка руху поїздів або аварії поїзда з тяжкими наслідками.

У прогнозах про шляхи розвитку та вдосконалення конструкцій буксових вузлів слід враховувати успішний розвиток такої науки, як триботехніка. Останнім часом створено цілу низку унікальних антифрикційних матеріалів, що забезпечують коефіцієнт тертя не вище 0,002 (антифрикційні покриття на основі дисульфиду молібдену), що робить у перспективі можливим повернення на високошвидкісному транспорті до підшипників ковзання, які, природно, суттєво простіші за конструкцією та мають більш високу допустиму швидкість

обертання. Також останні дослідження показали, що в найближчій перспективі слід очікувати, що для високошвидкісного транспорту буде створено магнітні підшипники, у яких з'єднання є механічно безконтактним. Зв'язок у них здійснюється за допомогою сил електромагнітного поля.

4.2. Удосконалення буксових вузлів датчиками компанії SKF

Компанія SKF представила нові рішення в області вбудованих датчиків для реєстрації частоти та напрямку обертання, вертикальних та бокових прискорень, а також стану підшипників. Ці змонтовані в буксовому вузлі датчики використовуються, наприклад, в системах ETCS для управління гальмуванням і тягою, реєстрації швидкості та контролю температури підшипників. У сучасному рухомому залізничному складі застосування таких буксових датчиків поступово стає стандартом. Компанія SKF орієнтується на технології рухомого складу майбутнього щодо сумісності систем і відповідно до вимог ETCS. У пакеті з буксовим конічним роликовим підшипником Compact TBU компанія пропонує інтегральну мехатронну систему.

Компанія була заснована в 1907 р. З початку свого існування вона вважає своїм головним завданням забезпечення високої якості продукції, що розробляється з урахуванням останніх досягнень науки і техніки. Вона веде широкі дослідницькі роботи, що є гарантією появи нових винаходів, впровадження нових стандартів якості та постачання найсучаснішою продукцією. Відділення SKF Railways є першою та єдиною у світі компанією – розробником та виробником підшипників та буксових вузлів для залізничного рухомого складу, яка отримала міжнародний сертифікат IRIS (International Railway Industry Standard). Сертифікат дозволяє знизити витрати на виготовлення продукції за більш високої ефективності виробничих процесів. Це значною мірою досягається за рахунок зниження кількості контрольних операцій та перевірок у рамках загальної сертифікації продукції залізничної промисловості.

В даний час максимально допустиме осьове навантаження значної частини парку вантажних вагонів, що експлуатуються в Європі, становить 25 т. SKF розробила модифікований варіант компактного буксового підшипникового вузла Compact TBU (CTBU) для візків типу Y25, який дозволяє знизити експлуатаційні витрати за рахунок збільшення інтервалів технічного обслуговування, покращення робочих характеристик та підвищення рівня безпеки.

Група SKF розробляє та випускає підшипникові вузли для високошвидкісних поїздів. Так від компанії Alstom вона отримала замовлення на 1500 буксових вузлів для поїздів Pendolino нового покоління.

Чим більше об'єднується Європа, тим краще це позначається на залізничних перевезеннях. Пасажирські та вантажні перевезення на великі відстані стануть привабливішими та рентабельнішими, якщо буде забезпечений безперешкодний рух поїздів мережами залізниць кількох країн. З цією метою організуються різні міжнародні коридори для високошвидкісного та звичайного руху, що контролюються та керуються на магістральних лініях європейською системою контролю за рухом поїздів (ETCS).

Управління рухом на всіх видах транспорту набуває все більшого значення. Економічні та екологічні переваги залізничного транспорту значною мірою визначаються тим, як прямують поїзди рейками та стілочними переводами. Ефективність залізничного транспорту підвищується завдяки застосуванню сучасних сигнальних пристроїв, систем керування рухом та зв'язку. Підсистеми, що впливають на безпеку руху, наприклад розроблене компанією SKF сімейство датчиків для буксового вузла, вирішальною мірою сприяють підвищенню безпеки руху поїздів.

Буксовий конічний роликовий підшипник Compact TBU

Як стандартне обладнання багато виробників рухомого складу використовують готові до монтажу букси з конічними роликовими підшипниками TBU. Новий компактний буксовий вузол CTBU містить меншу кількість деталей, ніж звичайні букси. Крім того, зменшено його масу та розміри,

спрощено геометрію корпусу букси, наприклад у зоні лабіринтного ущільнення (рис. 4.5).

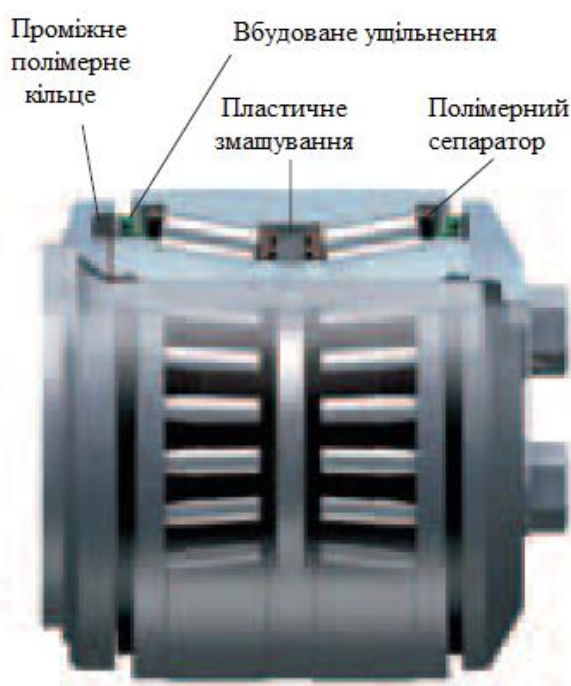


Рисунок 4.5 – Основні компоненти конічного роликового підшипника Comract TBV

Буксовий вузол складається із високоякісних компонентів. Це забезпечує високий рівень безпеки та надійність за низьких витрат на обслуговування.

Контактне ущільнення низького тертя. Ущільнення з малим тертям вбудовується в буксі між внутрішнім та зовнішнім кільцями, а саме на заплічці внутрішнього кільця. Воно являє собою поєднання лабіринтного ущільнення, контактуючої губки і маслорозбризкуючої шайби. Ущільнення забезпечує надійний захист від забруднень та підвищує термін експлуатації підшипника.

Полімерне проміжне кільце. Фрикційна корозія усувається тим, що в зоні переходу від лабіринтного кільця до внутрішньої контактної пари сталь - сталь замінена парою сталь - полімер. У складних умовах дослідної експлуатації навіть після пробігу 800 тис. км не виявили слідів фрикційної корозії.

Нове консистентне мастило.

Для буксових вузлів СТВU розроблено багатофункціональне мастило з

тривалим терміном служби. Воно витримало всі хімічні, механічні та трибологічні випробування за європейським стандартом EN 12081[14].

Полімерний сепаратор.

Сепаратори з армованого полімеру відрізняються унікальними властивостями – незначним тертям, низькою температурою нагрівання під час експлуатації, високими надійністю та безпекою. Букси колісної пари не блокуються навіть у аварійних випадках. Для СТВU полімерний сепаратор внаслідок малого монтажного об'єму додатково оптимізовано.

Випробування

Надійність та ефективність використання залізничних вагонів перевіряли тривалими експлуатаційними випробуваннями, що проходили у Випробувальному залізничному центрі (RTC) групи компаній SKF та в Інженерно-дослідному центрі Нідерландів (ERC). Тривалі експерименти та інші випробування проводилися відповідно до чинних регламентів, наприклад, нового європейського стандарту EN 12082:2018+A1:2022 [15] та приписів Асоціації американських залізниць (AAR).

Додатково до цих квазістатичних випробувань оцінювалася поведінка буксового вузла СТВU в умовах, близьких до реальних. Компанія SKF використовувала для цього стенд THISBE (випробувальний стенд для підшипників високошвидкісних поїздів), на якому моделювалися умови динамічного навантаження. Букса вбудовувалась у раму візка з підвіскою з ресор та амортизаторів. Стендом керував комп'ютер за допомогою сигналів, які дозволяли моделювати фактичні навантаження, прискорення та зміщення, що виникають на реальній буксі в експлуатації.

Датчики

Дані, що отримуються від датчиків, необхідні не тільки для оцінки певних станів залізничного рухомого складу; вони також дуже важливі для безпечного функціонування рухомого складу та управління процесом руху поїзда.

Більшість одиниць швидкісного рухомого складу обладнано системами, що перешкоджають буксуванню або блокуванню коліс при гальмуванні. Датчики частоти обертання застосовуються в протиюзних та протибоксувальних системах (WSP). Інші сфери застосування – реєстрація частоти обертання для контролю тяги та індикація швидкості на пульті машиніста.

Сучасні швидкісні поїзди оснащені тяговим приводом на базі трифазних асинхронних двигунів. Зазвичай ротор такого двигуна обладнано датчиком частоти обертання. Оскільки привід реверсивний, датчик має два фазових канали для реєстрації обох напрямків обертання.

Сигнали датчиків використовуються також для вимірювання пройденої відстані в автоматичних системах керування рухом поїздів, а саме у європейській ETCS та італійській SCMT. До нових розробок відносяться датчики частоти та напрямку обертання (рис. 4.6), а також датчики, що реагують на стан підшипника. Усі вони стають стандартом для рухомого залізничного складу нового покоління.



Рисунок 4.6 – Конічний роликовий підшипник Compact TBU із вбудованим компактним датчиком

Датчики SKF призначені для реєстрації наступних параметрів:

- температури підшипника у бортовій системі контролю;
- напрямку обертання (рис. 4.7);
- швидкості руху;
- пройденої відстані, що визначає місцезнаходження рухомого складу.

Саме ці параметри використовують у сучасних системах управління рухом поїздів.



Рисунок 4.7 – Підшипниковий вузол з датчиком визначення напрямку обертання, що має дві головки; заземлюючий контакт кріпиться до торця осі колісної пари

Датчики компанії SKF дозволені до застосування Міжнародним союзом залізниць (МСЗ). Вихідні сигнали датчиків використовуються в електронних пристроях управління рухомим складом та в системі управління рухом поїздів. Застосування таких датчиків у системі діагностики дозволяє отримати надійні дані про стан обладнання, що гарантує безпечну експлуатацію. Дуже важлива індикація даних на пульті машиніста, завдяки чому він у будь-який момент має інформацію про стан поїзда.

У високошвидкісних поїздах потрібен постійний контроль температури букс. Пристрій інтегрального контролю температури, розташований у зоні навантаження буксового підшипника, надає точні дані. При цьому конструкція корпусу букси залишається без змін. У разі перевищення температури відповідні сигнали передаються до систем управління та забезпечення безпеки руху поїзда. Компанія SKF розробила незалежну систему індикації, призначену для подальшої обробки даних щодо неприпустимого перевищення температури.

Сигнали датчиків, повністю вбудованих у буксовий вузол, переводяться в цифрову форму у функціональному пристрої і передаються на центральний модуль контролю температури. Контроль температури поїздом здійснюється в безперервному режимі.

Отже, рішення для залізничних датчиків SKF Axletronic є гнучкою платформою для залізничних транспортних засобів, яку можна встановлювати в підшипникові вузли букс або передні кришки. Ці підшипникові вузли букс, або передні кришки букс, надають кілька варіантів визначення швидкості та робочих параметрів для автоматичного захисту поїзда (АТЗ), автоматичного управління поїздом (АТЦ), блоків реєстрації (JRU) – зазвичай званих «чорною скринькою» – управління гальмами та системи моніторингу стану.

Датчик SKF Axletronic можна легко встановити як у нові, так і в існуючі транспортні засоби. Існує дві конфігурації SKF Axletronic, доступні для залізничної промисловості, залежно від місця розташування датчика:

- сенсорні системи, встановлені на ущільненні підшипника як невід’ємна частина буксового підшипникового вузла (рис. 4.8);
- системи датчиків, встановлені всередині передньої кришки букси, які не заважають підшипниковому вузлу.

Попередньо змащені та ущільнені підшипникові вузли можуть базуватися на конічних або циліндричних роликівих підшипникових вузлах із вбудованими датчиками. Система механічно встановлюється на цапфу після встановлення підшипникового вузла.

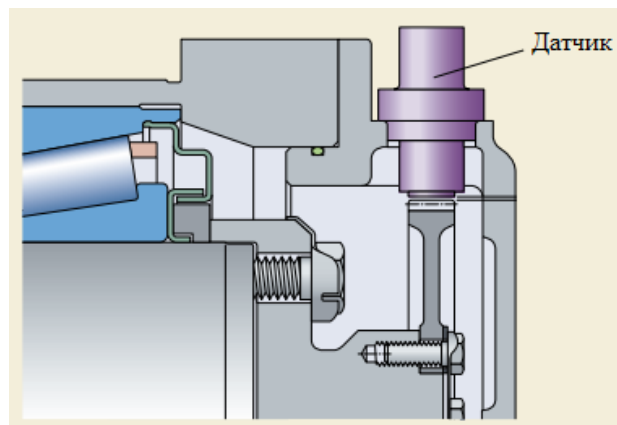


Рисунок 4.8 – Приклад звичайного датчика, встановленого на буксі

Для компактних конічних роликівих підшипникових вузлів металеве кільце ущільнення підшипника використовується як імпульсне колесо. Спеціальну форму виготовляють за допомогою лазерного різання.

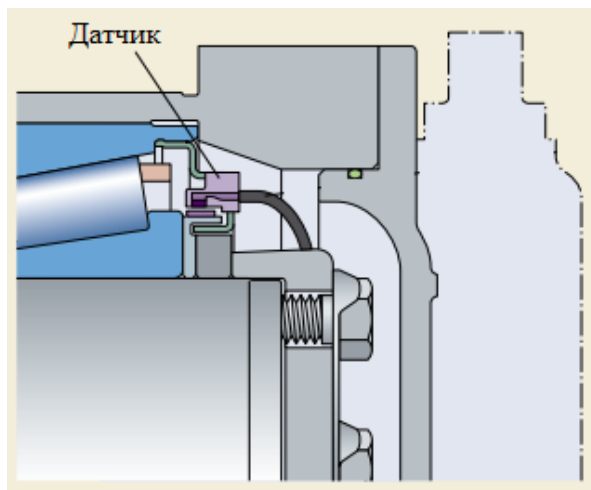


Рисунок 4.9 – Приклад датчика SKF Axletronic, вбудованого в підшипниковий вузол букси

Для циліндричних і конічних роликопідшипникових вузлів імпульсне колесо виготовляється шляхом вулканізації металевого кільця з гумовим покриттям, що містить магнітні частинки. Металеve кільце є частиною ущільнювальної системи. Ця спеціальна конструкція може витримувати екстремальні температури. Його компактна конструкція потребує менше місця в буксі, ніж звичайні конструкції, і має менше компонентів.

Також розроблені комплекти, що дозволяють легко модернізувати підшипникові вузли під час технічного обслуговування.

Ці комплекти включають:

- нове зовнішнє ущільнення;
- магнітно-імпульсне колесо;
- проміжна передня кришка;
- зовнішній кабель;
- датчик.

Переваги SKF Axletronic

- компактна конструкція з меншою кількістю компонентів, що економить простір і масу;
- дозволяє комбінувати датчики на одній буксі;

- можливість інтеграції кількох датчиків швидкості за допомогою одного імпульсного кільця;
- індивідуальна конфігурація датчика на основі індивідуальних специфікацій замовника;
- простий монтаж і перевірка сигналу;
- краща і тривала продуктивність;
- не потребує обслуговування;
- менша вартість життєвого циклу.

Сенсорні можливості (табл. 4.1)

Датчик SKF Axletronic – це дуже універсальна підсистема для застосування на залізниці, яка забезпечує більший діапазон сигналів, ніж звичайні рішення датчиків букси. У більшості програм потрібне вимірювання швидкості обертання або для використання як окремого сигналу для кількох програм, або для керування оцінкою даних у поєднанні з напрямком руху для одометричних систем (вимірювання відстані). Датчики SKF Axletronic виявляють сигнали вертикального та/або бокового прискорення, які використовуються для систем моніторингу стану візків. Існують програми, де визначаються лише температури підшипників. Однак ці дані можна використовувати в поєднанні з іншими параметрами, такими як моніторинг стану візка. Для керування вимогами до параметрів доступно кілька конфігурацій датчиків SKF Axletronic з одним або декількома каналами, розподіленими по колу ущільнення підшипникового вузла або всередині проміжної передньої кришки букси.

Визначення частоти обертання

Перші датчики SKF Axletronic були розроблені для визначення частоти обертання, включаючи виявлення руху. Цей сигнал використовується для захисту від ковзання коліс (WSP), щоб уникнути проковзування та блокування під час гальмування, особливо для високошвидкісної роботи залізничних транспортних засобів. Іншим типовим застосуванням є системи тахографів. Ці критично важливі для безпеки системи використовують датчик SKF Axletronic

для введення сигналу швидкості, який використовується в електронних залізничних блоках.

Таблиця 4.1 – Сенсорні можливості SKF Axletronic

Параметр	Програми
Частота обертання	Захист від ковзання коліс (WSP)
	Тахограф
	Відділ запису (JRU)
	Інформаційна система приводу (DIS)
	Контроль тяги (протибуксовочна система)
	Розпізнавання руху
	Контроль стану візка
	Пасажирська інформаційна система (PIS)
	Лічильник ват-годин
Напрямок обертання	Традиційний автоматичний захист поїздів
	Автоматичний рух поїздів
Одометричний	Автоматичне керування поїздами (ATC)
	Європейська система управління поїздами (ETCS)
	Управління поїздами на основі зв'язку (CBTC)
Одометричний (вимірювання відстані)	European Train Control System (ETCS)
Температура підшипника	Виявлення пошкоджень підшипників
Вертикальна вібрація	Виявлення пошкоджень підшипників
	Контроль стану візків – стан коліс
Бокова вібрація	Контроль стану візка – стійкість візка

Датчик швидкості SKF Axletronic заснований на безконтактному вимірюванні магнітного потоку та кількості імпульсів на оберт (рис. 4.10-4.11).

Кількість імпульсів на оберт разом із діаметром колеса встановлює дугу роздільної здатності. Це кутовий перетин кільця магнітного імпульсу, охопленого кожним імпульсом. Відстань, яку пройде колесо, є функцією двох наступних імпульсів.

Є дві різні конфігурації:

- активний повний мостовий перетворювач на основі струмового переходу з прямокутним цифровим переходом;
- активний повний мостовий перетворювач на основі переходу напруги з прямокутним цифровим переходом.

Сьогодні швидкість обертання запитується як додаткові дані для обробки кількох інших програм, таких як Drive Information System (DIS), Juridical Recording Unit (JRU), виявлення руху, Passenger Information System (PIS) і ватт-годинний лічильник.

Вихідний сигнал датчика SKF Axletronic має форму синусоїди зі сталою амплітудою та частотою, пропорційною швидкості обертання осі.

Цей базовий сигнал можна обробити для отримання прямокутної форми, необхідної електронній системі.

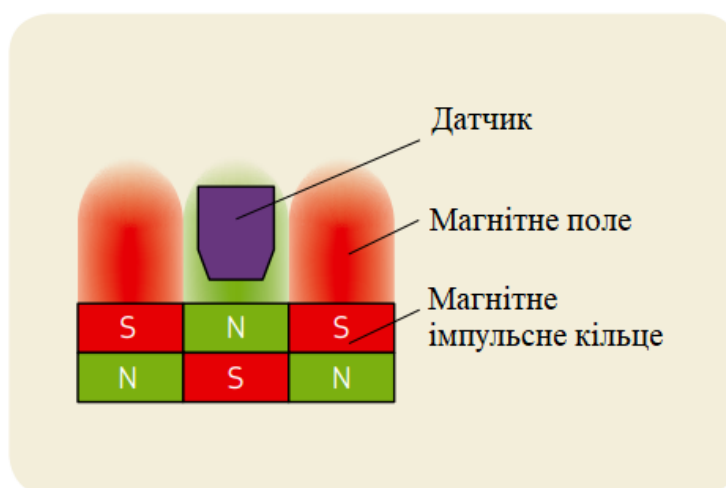


Рисунок 4.10 – Принцип зміни магнітного потоку – кільце магнітного імпульсу

Існують три різні конструкції імпульсних коліс, які використовуються для різних застосувань (рис. 4.12):

– імпульсне колесо з вулканізованою гумою, що містить частинки феромагнітного металу; інтегрована в конструкцію ущільнення підшипникового вузла; використовується для буксових підшипникових вузлів;

– металеве імпульсне колесо з прорізами: вбудоване в конструкцію ущільнення підшипникового вузла; використовується для компактних буксових підшипникових вузлів;

– металеве імпульсне колесо з шліцами; встановлене на кінці осі колісної пари; використовується для модернізації існуючих букс систем SKF Axletronic.

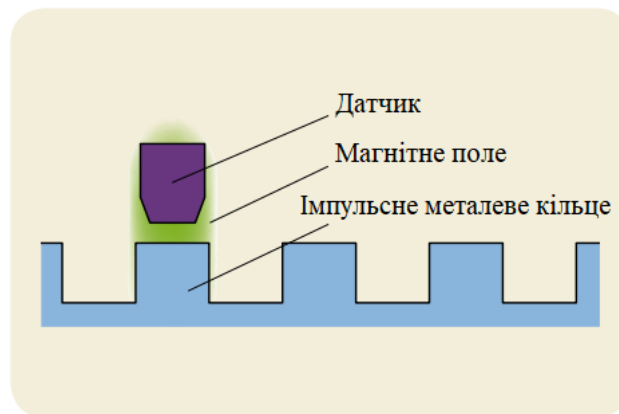


Рисунок 4.11 – Принцип зміни магнітного потоку – металеве імпульсне кільце

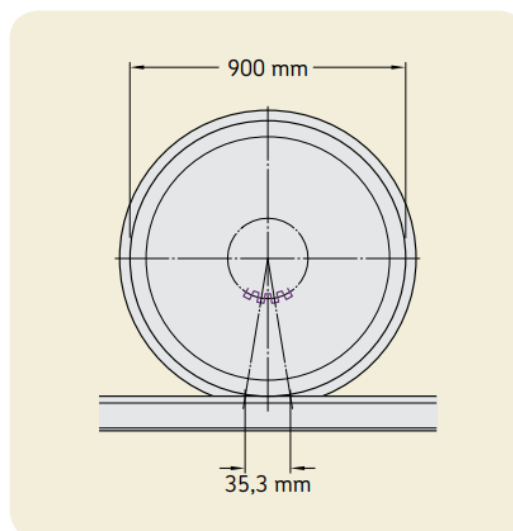


Рисунок 4.12 – Типовий приклад роздільної здатності датчика з імпульсним колесом 80 імпульсів

Деякі системи потребують інформацію про напрямок обертання. У цьому випадку потрібні подвійні сигнали швидкості, зміщені на 90° (рис. 4.13-4.14). Виявлення напрямку руху необхідне для визначення позиціонування поїзда для систем контролю та управління поїздом.

Типовими застосуваннями є керування поїздами на основі зв'язку, автоматичний захист поїздів (АТР) і Європейська система керування поїздами (ETCS). Сигнали подвійної швидкості в основному потрібні для одометрії всіх систем управління рухом, щоб дотримуватися відповідних швидкостей і уникати зіткнень з іншими поїздами.

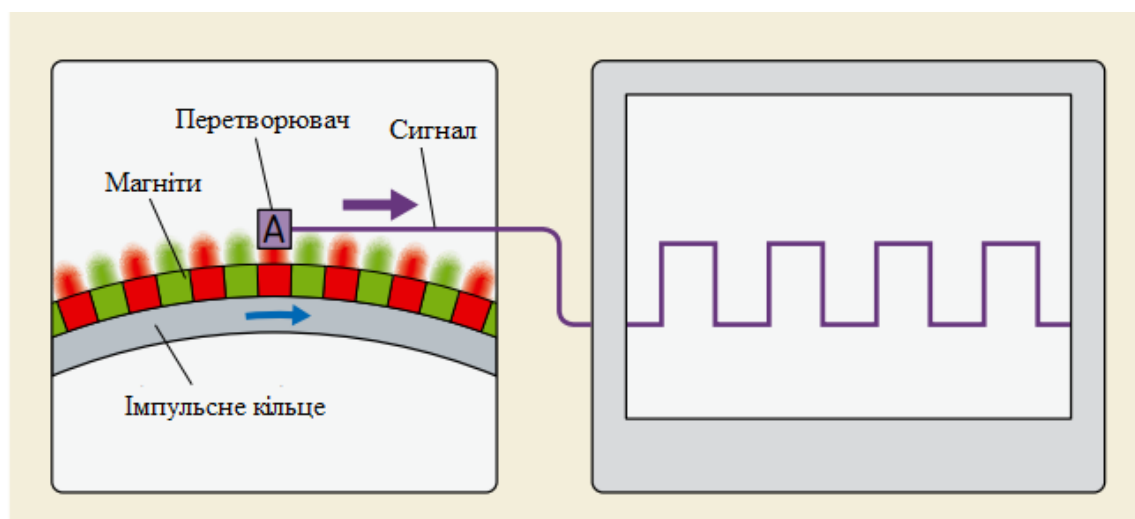


Рисунок 4.13 – Датчик частоти обертання «Single head» SKF Axletronic з одним каналом

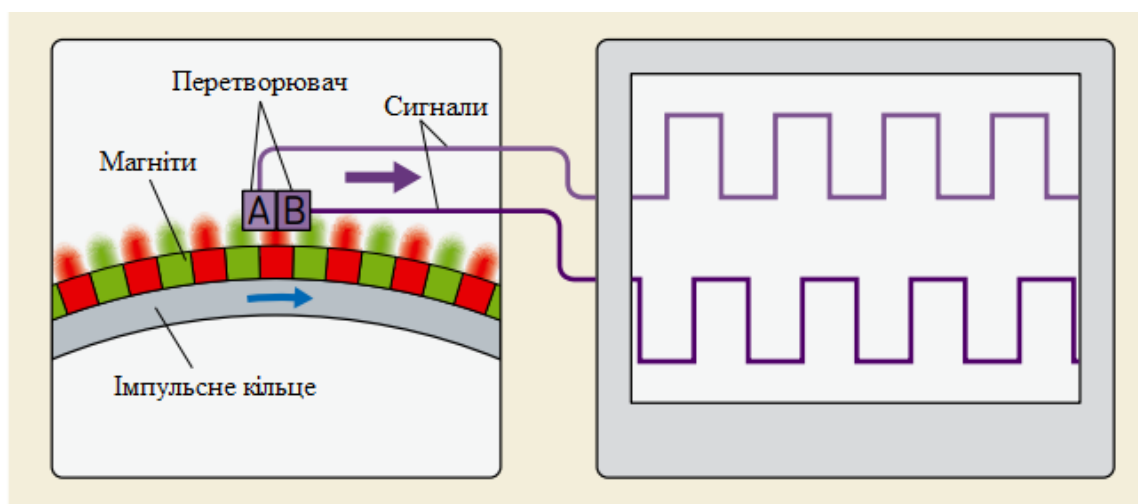


Рисунок 4.14 – Датчик швидкості обертання «Single head» SKF Axletronic з двома каналами

Датчики систем автоматичного керування поїздами

Для систем автоматичного керування поїздами (АТС) потрібен пакет даних і кілька незалежних вимірювань параметрів, щоб досягти резервування з міркувань безпеки. Однією з переваг конструкції датчика SKF Axletronic є можливість застосовувати більше датчиків, розподілених по колу ущільнення підшипникового вузла або на проміжній передній кришці букси, для вимірювання кількох параметрів (рис. 4.15).



Рисунок 4.15 – Датчик швидкості SKF Axletronic з подвійною головкою для автоматичного керування поїздами (АТС) і ETCS

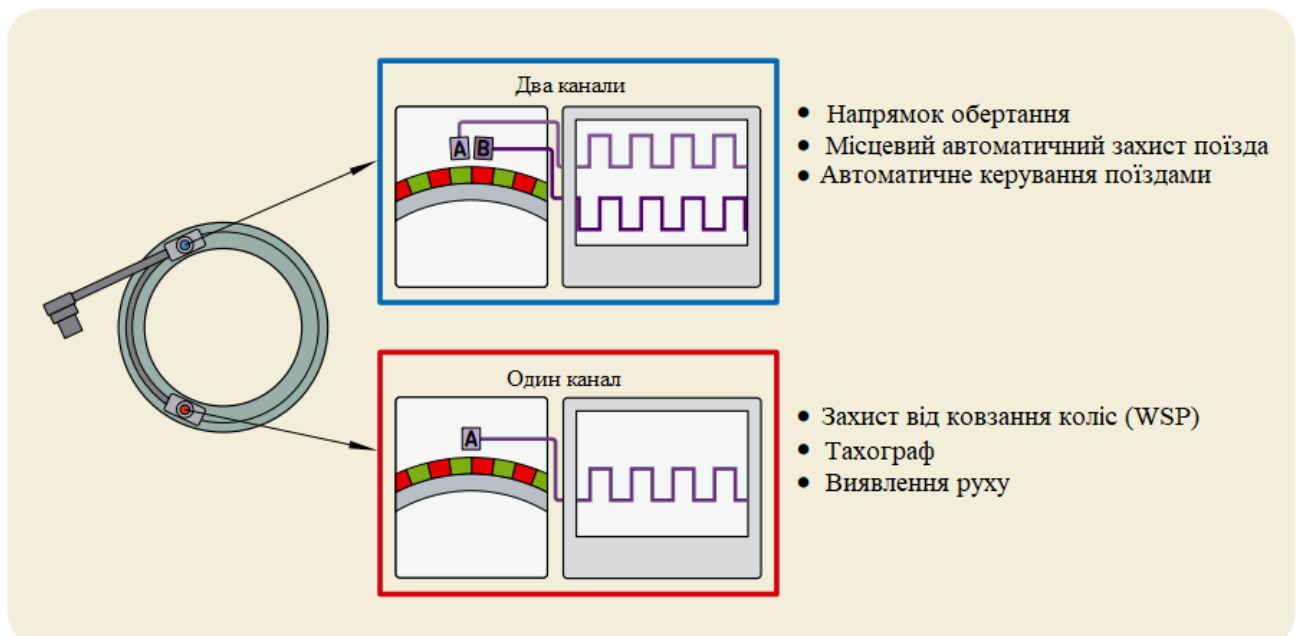


Рисунок 4.16 – «Подвійні» датчики швидкості SKF Axletronic з двоканальним і одноканальним дизайном

Датчики одометра для ETCS (рис. 4.17)

По всій Європі встановлено близько 20 різних систем сигналізації та контролю швидкості. Ці системи історично розроблялися на національній основі без урахування загальних міжнародних технічних і експлуатаційних стандартів. Це призводить до дуже високих витрат на інвестиції та технічне обслуговування обладнання, а також до підвищеного ризику поломки та ускладнень складної експлуатації, включаючи навчання машиністів і робоче навантаження. Наявність кількох різних систем на борту та потреба в індивідуальних конструкціях для кожного конкретного маршруту збільшують вартість. Кабіна водія має бути обладнана різними системами сигналізації, а також спеціальним екраном для роботи на певних лініях. Ці технічні бар'єри були вузьким місцем для міжнародної сумісності залізниць. Інші системи керування поїздами використовуються в Китаї, де китайська система керування поїздами базується на новітніх європейських технологіях і адаптована до вимог китайських залізниць.



Рисунок 4.17 – 3D модель букси з одометром AXLETRONIC

Системи управління рухом гарантують, що поїзди рухаються безпечно та ефективно по правильних коліях, дотримуються обмежень швидкості та уникають зіткнень з іншими поїздами.

Європейська система управління залізничним рухом (ERTMS) виконує дві основні функції: зв'язок і контроль. Функція зв'язку GSM-R базується на стандарті GSM, але використовує інші частоти та пропонує певні розширені функції. Це радіосистема, яка використовується для обміну голосовою інформацією та інформацією між колією та поїздом. Європейська система керування поїздами (ETCS) – це в основному комп'ютер на основі поїзда, Eurocab, який порівнює швидкість поїзда, що передається від колії, до максимально дозвільної швидкості та автоматично сповільнює поїзд, якщо швидкість перевищена. За допомогою ETCS пристрій під назвою Eurobalise, встановлений на колії, надсилає інформацію до поїзда, дозволяючи йому безперервно розраховувати максимальну дозвільну швидкість. На лініях, де є колійна сигналізація (ліхтарі та дорожні знаки, які дозволяють водієві знати дозвільну швидкість), ця інформація може передаватися стандартними маяками (світловими сигналами), розташованими вздовж колії та підключеними до євробалізів. Це ETCS рівень 1.

Для рівня 2 ETCS інформація також може передаватися по радіо (GSM-R), і сигнали на колії більше не потрібні. Це дозволяє істотно заощадити на інвестиціях і на обслуговуванні. Положення поїздів досі визначається колійними системами.

Для рівня 3 ETCS потяг сам надсилає інформацію про своє місце розташування, що дає змогу оптимізувати пропускну спроможність лінії та ще більше зменшити обладнання на колії. Для всіх рівнів ETCS комп'ютер Eurocab на базі поїзда порівнює швидкість поїзда з максимально дозвільною швидкістю та автоматично сповільнює поїзд, коли це необхідно.

ETCS буде обов'язковою в Європі для будь-якого нового встановлення або оновлення сигналізації для ряду залізничних коридорів. Окрім вимог ETCS, датчики SKF Axletronic також відповідають вимогам інших національних автоматичних систем захисту поїздів.

Датчики контролю стану

Моніторинг температури букси почався десятиліття тому в залізничній промисловості за допомогою стаціонарних систем визначення температури, встановлених на колії. Це стаціонарне обладнання, зазвичай встановлюється на певних інтервалах вздовж колії. Частота вимірювання залежить від відстані між стаціонарними установками і може зайняти надто багато часу, щоб виявити всі гарячі корпуси підшипників. Іншим недоліком виявлення гарячої букси з боку колії є непряме вимірювання температури підшипника. При першому застосуванні сенсорних вузлів підшипників були встановлені датчики температури підшипників, а також датчики швидкості обертання для системи захисту від буксування коліс (рис. 4.18). Головною перевагою цієї установки був безперервний моніторинг температури, який можна здійснювати або за допомогою бортового моніторингу за допомогою сигналів, що надсилаються в кабіну машиніста, або шляхом вбудовування даних у систему моніторингу стану. Докладніше про вимоги до системи щодо моніторингу стану зазначено в ДСТУ EN 15437-2:2015 [16].

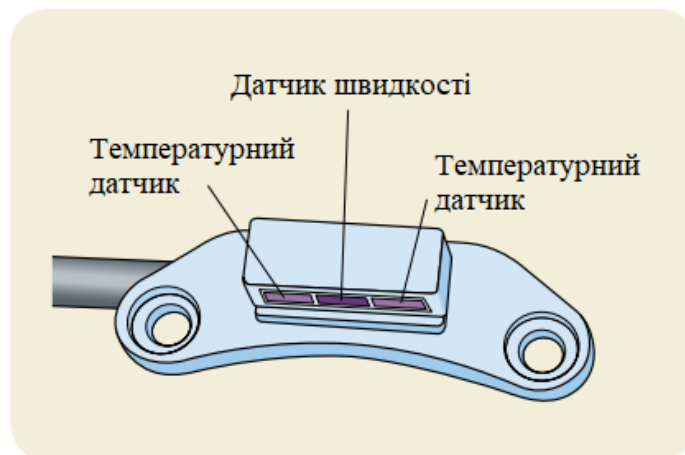


Рисунок 4.18 – Система датчиків SKF Axletronic з однією головкою для визначення швидкості обертання та температури, застосованої для вузлів кінцевих роликових підшипників (ТВУ)

Виявлення вібрації

Датчики вібрації визначають прискорення (рис. 4.19). Вібраційні сигнали,

що вимірюються у вертикальному напрямку, використовуються для виявлення пошкоджень підшипників і систем моніторингу стану коліс/візків. Сигнали вібрації, виміряні в поперечному напрямку, стосуються моніторингу стану та стійкості візка.

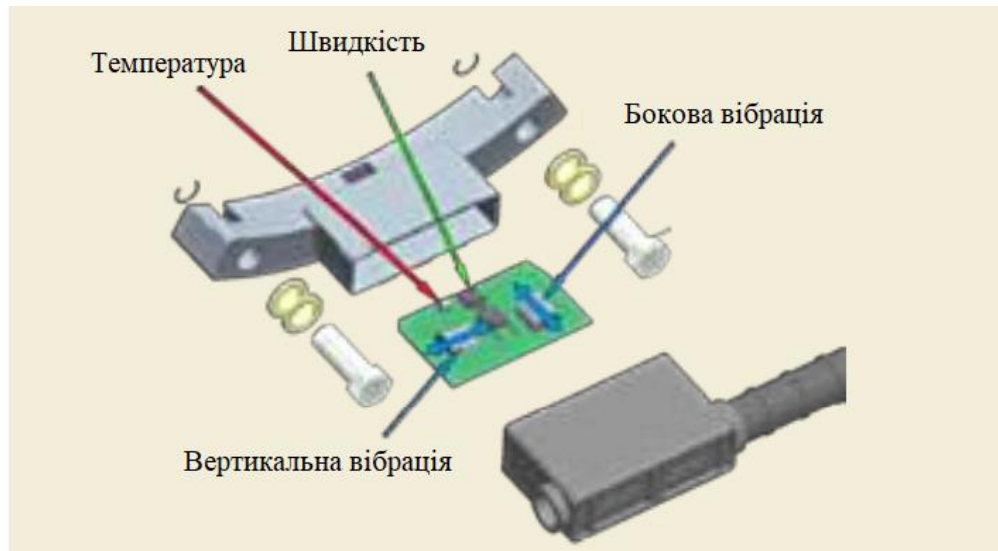


Рисунок 4.19 – Сенсорна система SKF Axletronic

Зазвичай у поєднанні з виявленням вібрації визначається кілька параметрів, таких як швидкість обертання, температура підшипника тощо. Усі датчики вбудовані в корпус датчика (рис. 4.20).



Рисунок 4.20 – Компактний конічний роликовий підшипниковий вузол Axlebox (CTBU), оснащений багатofункціональною системою датчиків SKF Axletronic

Висновки до розділу 4

– розглянуто підшипникові вузли, що застосовуються при експлуатації сучасного рухомого складу та їх основні параметри;

– відзначено, що вже сьогодні у європейській залізничній системі проходять тести локомотиви та вагони, що працюють на інтелектуальних підшипниках для колісних пар, із вбудованими датчиками, які вимірюють температуру, швидкість та прискорення;

– досліджено роботу буксових вузлів з датчиками компанії SKF Axletronic та їх сенсорні можливості відповідно до вимог нормативних документів;

– встановлено, що датчиками компанії SKF Axletronic відповідають вимогам європейської системи керування поїздами, що є важливим фактором при використанні європейської системи управління залізничним рухом (ERTMS).

ВИСНОВКИ

- розглянуто типи роликопідшипників та особливості їх роботи;
- відзначено, що правильне технічне утримання та своєчасне проведення діагностування буксового вузла сприяє продовженню міжремонтного терміну його експлуатації та забезпеченню безпеки руху;
- наведено переваги та недоліки різних типів підшипникових вузлів букс колісних пар вагонів та локотивів;
- досліджено умови експлуатації роликопідшипників;
- розглядаючи схему навантаження та буксові вузли пасажирського та вантажного вагона встановлено, що через різну величину прогинів рейок, різну граничну жорсткість та висоту пружин ресорного підвішування, відхилення розмірів колісних пар, складові вертикального навантаження на кожен буксовий вузол є різними;
- відзначено, що буксові підшипники локомотивів на відміну від підшипників вагонів, зазнають ще й радіального горизонтального навантаження від сили тяги;
- наведено розподіл несправностей роликопідшипників типу 2726, які виникають в період їх експлуатації;
- розглянуто математичну модель розрахунку буксового підшипника, враховуючи особливості експлуатації рухомого складу;
- встановлено, що при навантаженні на вісь 25 т, кількості підшипників у буксі, що сприймають радіальні навантаження – 2 шт, кількості роликів у підшипнику – 14 шт довговічність роликового підшипника складає 2,03 млн. км.;
- досліджено, що при радіальному навантаженні на найбільш навантажений ролик за величиною $20,145 \cdot 10^3$ Н контактні напруження на внутрішнє та зовнішнє кільце становитимуть 1038 МПа та 846 МПа відповідно;
- відзначено, що вже сьогодні у європейській залізничній системі проходять тести локомотиви та вагони, що працюють на інтелектуальних підшипниках для колісних пар, із вбудованими датчиками, які вимірюють температуру, швидкість

та прискорення;

– досліджено роботу буксових вузлів з датчиками компанії SKF Axletronic та їх сенсорні можливості відповідно до вимог нормативних документів;

– встановлено, що датчиками компанії SKF Axletronic відповідають вимогам європейської системи керування поїздами, що є важливим фактором при використанні європейської системи управління залізничним рухом (ERTMS).