

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ НАУКИ І ТЕХНОЛОГІЙ

Факультет “Транспортна інженерія”

Кафедра “Локомотиви”

“ДО ЗАХИСТУ”

Зав.кафедрою Б. Боднар Борис БОДНАР

“ 19 ” 01 2024 р.

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА  
до кваліфікаційної роботи *магістра*

на тему: “Удосконалення випробування механічного обладнання  
електропоїзда 81.717.5М”

за освітньою програмою: “Локомотиви та локомотивне господарство”  
зі спеціальності 273 “Залізничний транспорт”  
галузі знань 27 “Транспорт”

Виконав: студент групи ЛГ2226

Олег ПЕТРАШАК Олег ПЕТРАШАК

Керівник Олександр ОЧКАСОВ Олександр ОЧКАСОВ

Нормоконтролер Людмила КОЛОДІЙ Людмила КОЛОДІЙ

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

Студент Олег ПЕТРАШАК

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE  
UKRAINIAN STATE UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGIES

Faculty “*Transport engineering*”

Department “*Locomotives*”

Explanatory Note  
to Master’s Thesis

*master*

on the topic: “ **Improvement of testing of mechanical equipment of electric train 81.717.5M**”

according to educational curriculum: “*Locomotives and Locomotive Economy*”  
in the Speciality 273 “*Railway transport*”  
Branch of knowledge 27 “*Transport*”

Done by the student of the group *LG2226*:

Oleg PETRASHAK

Scientific Supervisor: Oleksandr OCHKASOV

Normative controller: Liudmyla KOLODII

Dnipro, 2024

**Український державний університет науки і технологій**

Факультет «*Транспортна інженерія*», кафедра «*Локомотиви*»

Спеціальність 273 «*Залізничний транспорт*»

за ОП «*Локомотиви та локомотивне господарство*»

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри «Локомотиви»

\_\_\_\_\_ Борис БОДНАР

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2024 р.

**З А В Д А Н Н Я**

на кваліфікаційну роботу на здобуття ОС «*магістр*»

студенту групи *ЛГ2226*

**Петрашака Олега Миколайовича**

1. Тема кваліфікаційної роботи: «**Удосконалення випробування механічного обладнання електропоїзда 81.717.5М**»

затверджена наказом від «17» січня 2023 р № 31ст

2. Термін подання студентом закінченої роботи «12» січня 2024 р

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи: проектно-конструкторська документація електропоїзда 81.717.5М; кількість пар поїздів робочого дня - 87, кількість пар поїздів вихідного дня – 66; періодичність технічного обслуговування та ремонту електровагонів

4. Перелік креслень (демонстративного матеріалу)

1) Схема обладнання електропоїзда.

2) Конструкція колісної пари вагону метрополітену.

- 3) Аналіз причин виникнення пошкоджень механічного обладнання.
- 4) Аналіз методів неруйнівного контролю механічного обладнання.
- 5) Обладнання для випробування механічного обладнання.
- 6) Обладнання для діагностування механічного обладнання.

5. Перелік питань до розробки та термін виконання

Назва розділу кваліфікаційної роботи	Термін виконання	Обсяг розділу, %
Експлуатація електропоїздів метрополітену	28.11.2023	30
Рухомий склад метрополітену	19.12.2023	30
Удосконалення випробування механічного обладнання електропоїзда	09.01.2024	40

Студент \_\_\_\_\_ Олег ПЕТРАШАК

Керівник роботи \_\_\_\_\_ Олександр ОЧКАСОВ

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	
1 ЕКСПЛУАТАЦІЯ ЕЛЕКТРОПОЇЗДІВ МЕТРОПОЛІТЕНУ.....	
1.1 Характеристика електродепо.....	
1.2 Розрахунок річної програми ремонту електродепо .....	
1.3 Розрахунок фронту ремонту та інвентарного парку електровагонів .....	
2 РУХОМИЙ СКЛАД МЕТРОПОЛІТЕНУ .....	
2.1 Технічна характеристика вагону 81-717 .....	
2.2 Екіпажна частина вагону метрополітену .....	
2.3 Конструкція колісних пар вагонів метрополітену .....	
2.4 Технологія формування колісної пари .....	
3 УДОСКОНАЛЕННЯ ВИПРОБУВАННЯ МЕХАНІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ЕЛЕКТРОПОЇЗДА.....	
3.1 Аналіз пошкоджень екіпажної частини .....	
3.2 Методи неруйнівного контролю колісних пар та рам візків .....	
3.3 Методи вібраційного діагностування вузлів механічного обладнання ....	
3.4 Обладнання для вібраційного діагностування візків .....	
3.5 Удосконалення випробувань механічного обладнання вагону метрополітену .....	
3.6 Визначення несправностей механічного обладнання на основі аналізу сигналу вібрації.....	
ВИСНОВКИ.....	
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ .....	

					<i>0032.226325.000.04MP.ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		<i>Лім.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Розроб.</i>		<i>Петрашак</i>			Удосконалення випробування механічного обладнання електропоїзда 81.717.5М		5	
<i>Перевір.</i>		<i>Очкасов</i>						
<i>Реценз.</i>								
<i>Н. Контр.</i>		<i>Колодій</i>						
<i>Затверд.</i>		<i>Боднар</i>						
						УДУНТ, ЛГ2226		

## РЕФЕРАТ

Дипломна магістерська робота на тему: «Удосконалення випробування механічного обладнання електропоїзда 81.717.5М».

Загальний обсяг проекту 6 креслень і 68 аркушів розрахунково-пояснювальної записки, яка складається з трьох розділів, містить 18 рисунків, 7 таблиць, список літератури з 14 джерел.

Об'єкт дослідження: процес випробування механічного обладнання електропоїзда метрополітену.

Мета дослідження: підвищення надійності і безпеки експлуатації вагонів метрополітену за рахунок впровадження засобів технічного діагностування при випробуванні механічного обладнання.

Магістерська робота присвячена питанням підвищення надійності та транспорту метрополітену шляхом аналізу та вдосконалення випробувань механічного обладнання електродепо. Надано характеристику рухомого складу метрополітену, зосереджуючись на технічних характеристиках вагонів та конструкції колісних пар. Вдосконалено випробувань механічного обладнання електропоїзда. Розглянуто методи неруйнівного контролю, вібраційного діагностування при випробуванні колісних пар, що є ключовим внеском у розвиток ефективних стратегій технічного обслуговування.

Дослідження, викладене у магістерській роботі, націлене на вдосконалення системи випробувань механічного обладнання електропоїзда, сприяючи підвищенню його надійності та безперебійному функціонуванню в умовах міського транспорту.

Галузь застосування: експлуатація та ремонт вагонів метрополітену.

Ключові слова: ЕЛЕКТРОПОЇЗД МЕТРОПОЛІТЕНУ, ВАГОН 81.717.5, ДІАГНОСТУВАННЯ, МЕХАНІЧНЕ ОБЛАДНАННЯ, ВІБРАЦІЙНА ДІАГНОСТИКА

					0032.226325.000.04МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВСТУП

Сучасна експлуатація електропоїздів метрополітену визначається необхідністю забезпечення безперебійного та ефективного функціонування системи громадського транспорту. З метою підвищення надійності та продуктивності транспорту метрополітену, важливим є постійний аналіз та вдосконалення механічного обладнання електродепо, вагонів та їх екіпажної частини.

Перший розділ роботи присвячений експлуатації електродепо метрополітену, включаючи характеристику депо, розрахунок річної програми ремонту та фронту ремонту електровагонів.

Другий розділ детально розглядає рухомий склад метрополітену, зокрема технічні характеристики вагонів та їх екіпажних частин, конструкцію колісних пар та технологію формування колісної пари.

Основна увага у роботі приділена третьому розділу, де детально розглядаються методи та технології вдосконалення випробувань механічного обладнання електропоїзда. Виконано аналіз причин пошкоджень механічного обладнання, розглянуто методи неруйнівного контролю механічного обладнання електропоїзда, методи вібраційного діагностування та обладнання для випробувань колісних пар становлять ключовий внесок у розвиток ефективних стратегій технічного обслуговування вагонів метрополітену.

Дослідження виконане у цій магістерській роботі покликане вдосконалити систему випробувань механічного обладнання електропоїзда, що сприятиме підвищенню його надійності та забезпечить безперебійне функціонування в умовах міського транспорту.

					0032.226325.000.04МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

# 1 ЕКСПЛУАТАЦІЯ ЕЛЕКТРОПОЇЗДІВ МЕТРОПОЛІТЕНУ

## 1.1 Характеристика електродепо

Електродепо є структурним підрозділом комунального підприємства «Дніпропетровський метрополітен», а саме – його основним депо. Депо обслуговує рухомий склад, який обертається на першій пусковій ділянці від станції «Комунарівська» до станції «Вокзальна» протяжністю 11,82 км (рисунок 1.1).

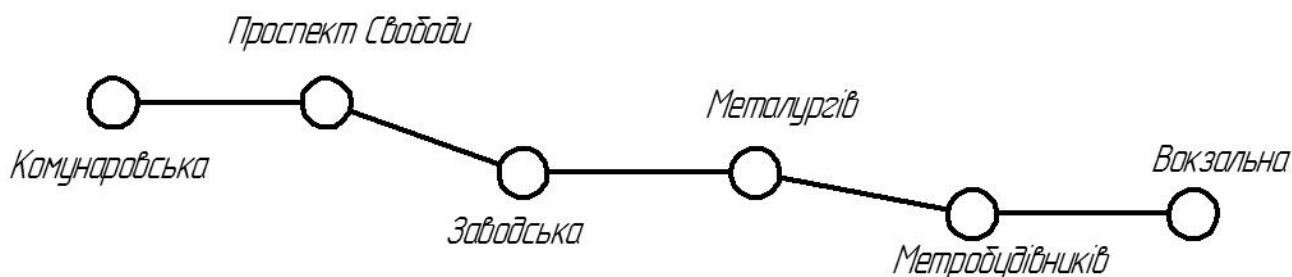


Рисунок 1.1 – Схема метрополітену

Площадка електродепо розміщена в західній правобережній частині м.Дніпро у межах балки «Сухий яр». Площадка має форму неправильного витягнутого багатокутника. Площа території депо складає 16 га, під залізничними коліями – 4,1 га, щільність забудови складає 31%.

Основні види діяльності депо – перевезення пасажирів, маневрова робота, проведення технічних оглядів рухомого складу (ТО-1, ТО-2, ТО-3, ТО-4, ТО-5), поточних ремонтів (ПР-1, ПР-2, ПР-3), середнього ремонту СР, позапланових ремонтів, екіпірування. На території депо здійснюється відстій рухомого складу.

Основні задачі та функції депо:

- забезпечення ремонту і утримання у справному стані тягового рухомого складу та обладнання, що знаходиться на балансі депо;

						0032.226325.000.04МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			



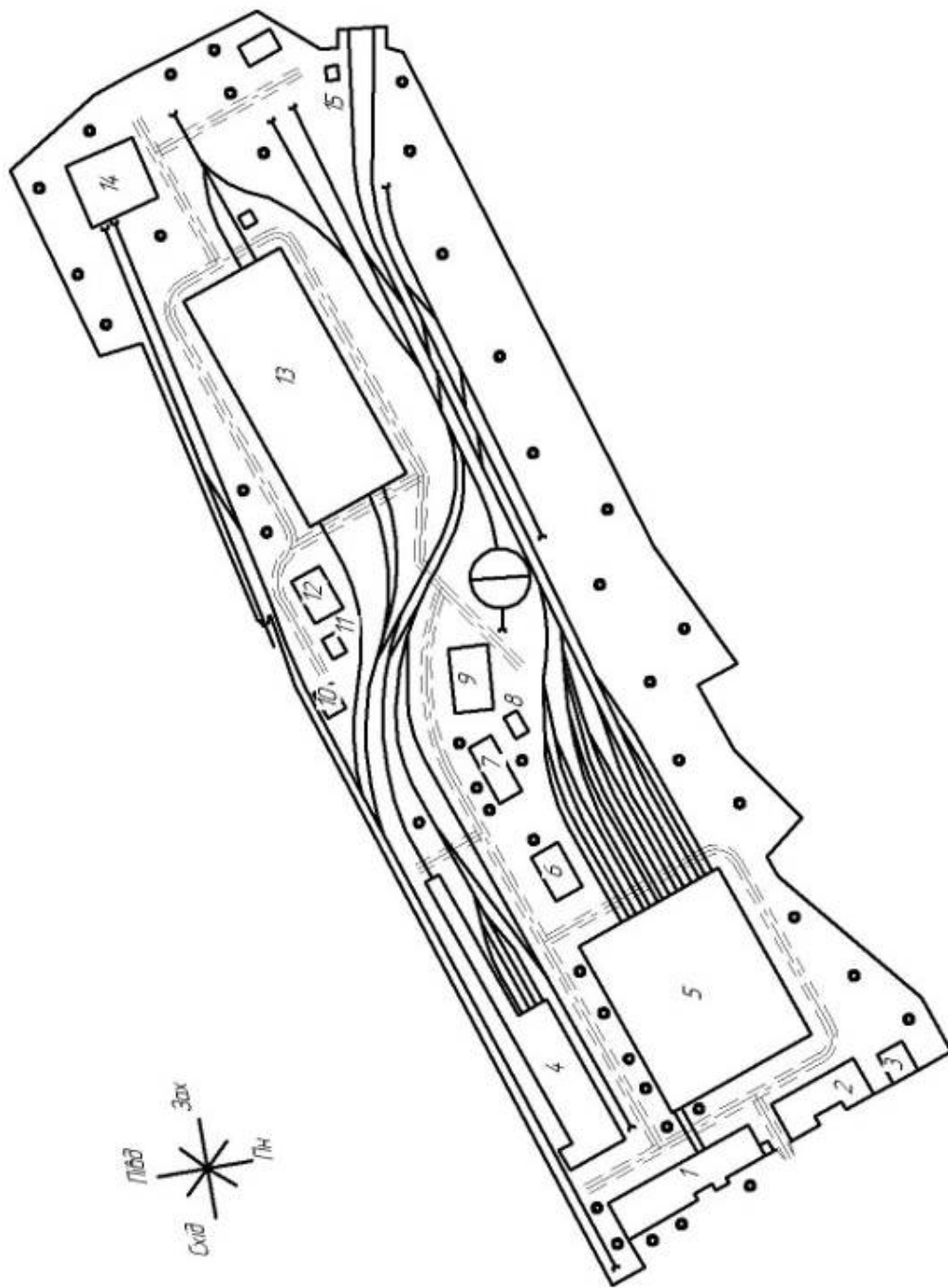


Рисунок 1.2 – План електродепо метрополітену:

1 – адміністративно-побутовий корпус; 2 – частина МНС; 3 – склад; 4 – мотодецо; 5 – головний корпус; 6 – пост електродепо; 7 – компресорна; 8 – стрілочний пост; 9 – підземний склад; 10 – будинок фільтрів; 11 – склад ПММ; 12 – очисні споруди; 13 – цех ІР-3 та КР електровагонів; 14 – склад допоміжних матеріалів; 15 – пост охорони

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

0032.226325.000.04МР.ПЗ

Арк.



відділення, ділянка ремонту гумово-металевих виробів, склад оборотного запасу вузлів і агрегатів. Крім того цех забезпечено мостовими та консольно-поворотними кранами, кран-балками, електродомкратами.

З врахуванням резерву та перспектив розвитку інвентарний парк для розрахунків приймався у якості 266 електровагонів (зі списочним штатом обслуговування у 189 машиністів). Таким чином, з ціллю виключення в майбутньому складної та трудомісткої реконструкції електродепо всі будівлі та виробничі площі на території електродепо спроектовані з врахуванням подальшого розвитку ліній та збільшення обсягів руху.

Нині інвентарний парк депо складає 45 моторних вагонів моделей 81-717.5 (головні) та 81-714.5 (проміжні). Експлуатаційний парк на сьогоднішній день становить 18 електровагонів.

Обладнання електродепо складається зі станочного, підйомно-транспортного, електрозварювального обладнання, стендів для розбирання та випробування вузлів та агрегатів, мийних машин, засобів малої механізації трудомістких процесів. Для транспортного обслуговування об'єктів депо використовуються автомашини та електрокари.

Деповські колії мають вихід до загальної мережі доріг Укрзалізниці.

## 1.2 Розрахунок річної програми ремонту електродепо

Враховуючи низький пасажиропотік, зараз електропоїзд складається з трьох вагонів – двох головних та одного проміжного. В зв'язку з підвищенням тарифів на перевезення пасажирів маршрутним таксі, планується зростання пасажиропотоку та перехід на чотирьохвагонний склад електропоїзда - двох головних та двох проміжних вагонів, що відповідно приведе до зміни програми ремонту вагонів.

Особливістю роботи метрополітену являється те, що графік руху поїздів залежить від дня тижня: є графік руху поїздів робочого дня та

					0032.226325.000.04MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вихідного дня.

На підставі розкладу руху поїздів складемо графік обороту електропоїздів по ділянці обслуговування (рисунок 1.3, 1.4). Використовуючи графічний спосіб визначимо необхідну кількість електропоїздів:

- для графіку робочого дня необхідно  $M_{en}^{PG} = 5$  електропоїздів для обслуговування  $N^{PG} = 87$  пар поїздів;

- для графіку вихідного дня необхідно  $M_e^{BG} = 3$  електропоїзда для обслуговування  $N^{BG} = 66$  пар поїздів.

Річний пробіг електропоїздів, які обслуговують задану ділянку обертання визначається за формулою:

$$\sum MS_{\text{річ}} = 2 \cdot n_T \cdot (5 \cdot N^{PG} + 2 \cdot N^{BG}) \cdot L_{\text{дл}} \cdot (1 + \beta_{\text{д}}) \cdot 10^{-6}, \quad (1.1)$$

де  $\beta_{\text{д}}$  – коефіцієнт, який враховує допоміжний пробіг електропоїздів

(приймати  $\beta_{\text{д}} = (0,05 \div 0,10)$ ); приймаємо  $\beta_{\text{д}} = 0,1$ ;

$n_T$  – кількість тижнів в році; приймаємо  $n_T = 52$  тижня;

$L_{\text{дл}}$  – довжина ділянки обслуговування; приймаємо  $L_{\text{дл}} = 9,1$  км.

$$\sum MS_{\text{річ}} = 2 \cdot 52 \cdot (5 \cdot 87 + 2 \cdot 66) \cdot 9,1 \cdot (1 + 0,1) \cdot 10^{-6} = 0,59 \text{ млн. км.}$$

Річну програму ремонтів та технічного обслуговування визначаємо для всього парку електровагонів за наступними формулами:

- капітальний ремонт КР

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	0032.226325.000.04МР.ПЗ				

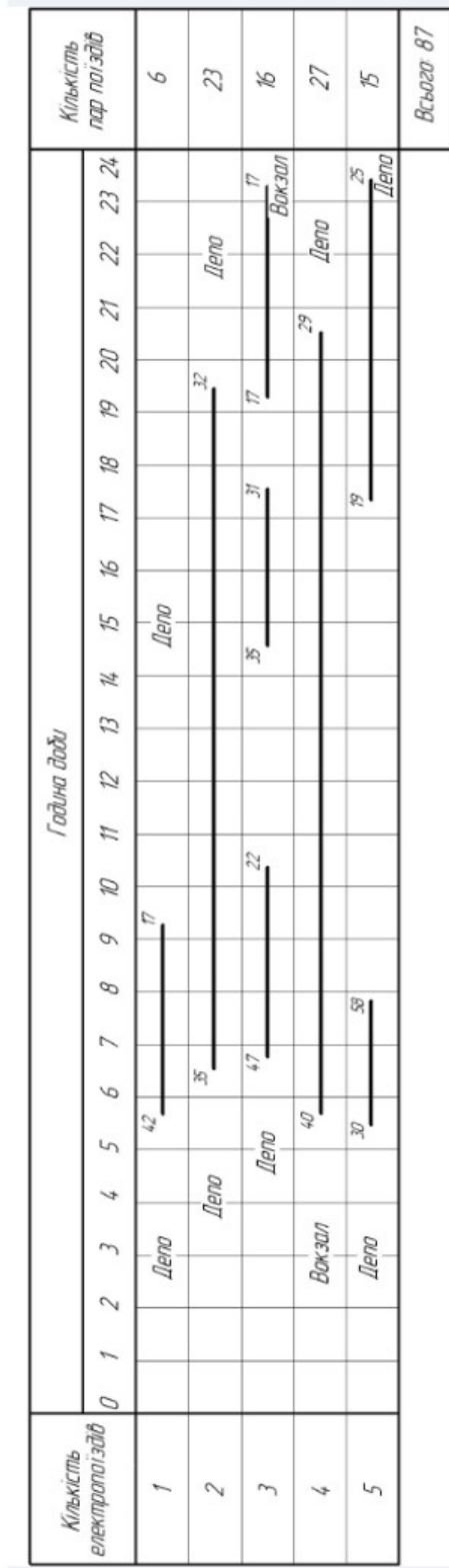


Рисунок 1.3 – Графік руху поїздів робочого дня

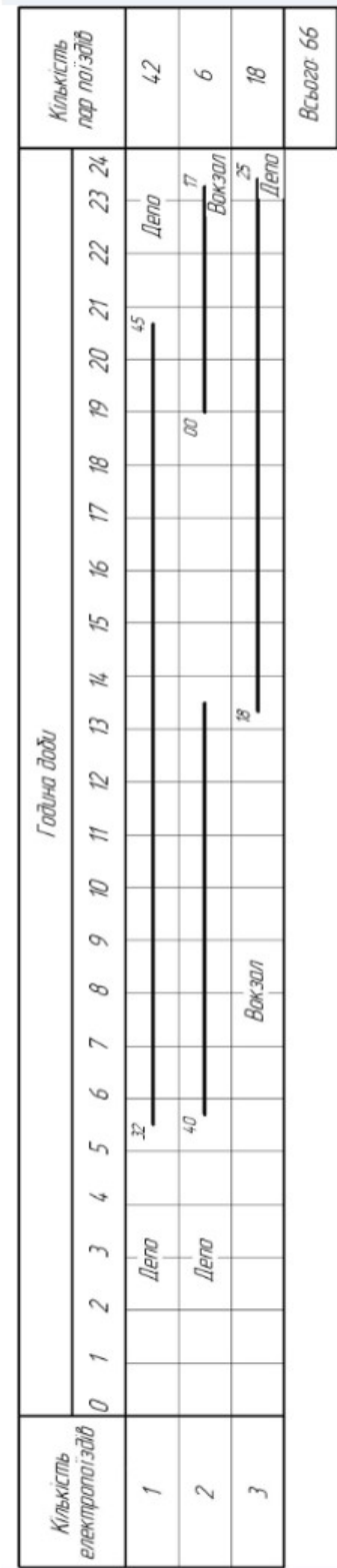


Рисунок 1.4 – Графік руху поїздів вихідного дня

$$M_{\text{КР}} = \frac{\sum MS_{\text{річ}}}{L_{\text{КР}}} \cdot n, \quad (1.2)$$

- середній ремонт СР

$$M_{\text{СР}} = \frac{\sum MS_{\text{річ}}}{L_{\text{СР}}} \cdot n - M_{\text{КР}}, \quad (1.3)$$

- поточний ремонт ПР-3

$$M_{\text{ПР-3}} = \frac{\sum MS_{\text{річ}}}{L_{\text{ПР-3}}} \cdot n - (M_{\text{КР}} + M_{\text{СР}}), \quad (1.4)$$

- поточний ремонт ПР-2

$$M_{\text{ПР-2}} = \frac{\sum MS_{\text{річ}}}{L_{\text{ПР-2}}} \cdot n - (M_{\text{КР}} + M_{\text{СР}} + M_{\text{ПР-3}}), \quad (1.5)$$

- поточний ремонт ПР-1

$$M_{\text{ПР-1}} = \frac{\sum MS_{\text{річ}}}{L_{\text{ПР-1}}} \cdot n - (M_{\text{КР}} + M_{\text{СР}} + M_{\text{ПР-3}} + M_{\text{ПР-2}}), \quad (1.6)$$

- технічне обслуговування ТО-3

$$M_{\text{ТО-3}} = \frac{\sum MS_{\text{річ}}}{L_{\text{ТО-3}}} \cdot n - (M_{\text{КР}} + M_{\text{СР}} + M_{\text{ПР-3}} + M_{\text{ПР-2}} + M_{\text{ПР-1}}), \quad (1.7)$$

де  $L_{\text{СР}}, L_{\text{КР}}, L_{\text{ПР-3}}, L_{\text{ПР-2}}, L_{\text{ПР-1}}, L_{\text{ТО-3}}$  – норми пробігу між відповідними видами ремонту та технічними обслуговуваннями, тис км; (таблиця

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	0032.226325.000.04МР.ПЗ					



### 1.3 Розрахунок фронту ремонту та інвентарного парку електровагонів

Фронтом ремонту називається кількість локомотивів, які одночасно знаходяться в даному (і-му) виді ремонту протягом будь-якої доби

$$f_i = \frac{M_i \cdot t_i}{D_p}, \quad (1.8)$$

де  $M_i$  – річна програма даного (і – го) виду ремонту, одиниць;

$t_i$  – простій локомотива у ремонті даного виду, (таблиця 1.2);

$D_p$  – розрахункова кількість робочих днів у році; приймаємо  $D_p = 254$  дні.

Таблиця 1.2 – Середні норми простоїв на технічному та поточному ремонті електровагонів

Вид ТО або ремонту	ТО-3 год	ПР-1 год	ПР-2 діб	ПР-3 діб	СР діб	КР діб
Тривалість ремонту та обслуговування	6	16	4	16	24	30

$$f_{KP} = \frac{1 \cdot 30}{365} = 0,08,$$

$$f_{CP} = \frac{1 \cdot 24}{254} = 0,09,$$

$$f_{ПР-3} = \frac{16 \cdot 3}{254} = 0,19,$$

$$f_{ПР-2} = \frac{5 \cdot 4}{254} = 0,08,$$

$$f_{ПР-1} = \frac{29 \cdot 0,75}{254} = 0,09,$$

$$f_{ТО-3} = \frac{276 \cdot 0,25}{365} = 0,2.$$

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	0032.226325.000.04МР.ПЗ					

Фронт ремонту  $f$  потрібно визначити і для ТО-4 та позапланових ремонтів ( $f_{n.p}$ ).  $f_{ТО-4,n.p}$ .

$$f_{ТО-4, п.р} \approx 0,5 \cdot f_{ТО-3}, \quad (1.9)$$

$$f_{ТО-4, п.р} = 0,5 \cdot 0,2 = 0,1;$$

Інвентарний парк  $M_{інв}$  для заданої ділянки обслуговування складається з електровагонів експлуатаційного парку  $M_e$ , електровагонів, які знаходяться в ремонті  $M_{рем}$ ; електровагонів, які знаходяться в резерві управління  $M_{рез}$ , тобто

$$M_{інв} = M_e + M_{рем} + M_{рез} + M_{зап}, \quad (1.10)$$

Необхідний експлуатаційний парк розрахуємо по найбільшій кількості електропоїздів для графіку робочого дня, тобто

$$M_e = n \cdot M_{en}^{PG}, \quad (1.11)$$

$$M_e = 4 \cdot 5 = 20 \text{ електровагонів.}$$

Кількість локомотивів, які знаходяться в резерві управління, можна прийняти за таку, що дорівнює 10 % від  $M_e$ .

$$M_{рем} = \sum f_i, \quad (1.12)$$

$$M_{рем} = 0,08 + 0,09 + 0,19 + 0,08 + 0,09 + 0,2 + 0,1 = 0,83 = 1 \text{ електровагон,}$$

$$M_{рез} = 0,1 \cdot 20 = 2 \text{ електровагона,}$$

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	0032.226325.000.04МР.ПЗ					



## 2. РУХОМИЙ СКЛАД МЕТРОПОЛІТЕНУ

До рухомого складу відносяться моторні вагони, призначені для перевезення пасажирів, спеціальні вагони (технічного призначення) і моторно-рейковий транспорт для перевезення господарських вантажів, що рухається від власного джерела - двигуна внутрішнього згорання.

Моторний вагон рухається електродвигунами, які отримують електроенергію через струмоприймачі від контактної рейки.

Кожен вагон метрополітену складається з механічної та електричної частини, а також пневматичного обладнання.

До механічної частини вагона відносяться кузов, рами двох візків, колісні пари, тяговий привід, ресорне підвішування, гальмівне обладнання та зчіпні пристрої. Колісні пари вагона наводяться у обертання тяговими двигунами. Вали тягових двигунів з'єднані з осями колісних пар карданными муфтами та зубчастими передачами (редукторами). На вагонах метрополітену отримав застосування індивідуальний тяговий привід, у якому кожна колісна пара приводиться у обертання своїм тяговим двигуном. Електрична частина вагона, крім тягових двигунів, містить безліч різних апаратів, призначених для пуску тягових двигунів, зміни швидкості та напрямку руху вагона, електричного гальмування, захисту обладнання від перевантажень та струмів короткого замикання, а також апарати допоміжних ланцюгів та ланцюгів керування. Для збільшення корисного об'єму пасажирського салону та безпеки пасажирів все основне електрообладнання підвішене під кузовом вагона на його рамі.

Тяговими двигунами та іншими електричними апаратами, що знаходяться під напругою контактної мережі, керують дистанційно з кабіни машиніста. Система дистанційного керування застосовується на всіх вагонах метрополітену. Як джерело живлення системи керування використовуються акумуляторні батареї, встановлені на вагонах.

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					0032.226325.000.04МР.ПЗ	

Головні вагони мають кабіну машиніста, в якій знаходяться основні апарати керування поїздом та кран машиніста. Це дозволяє керувати поїздом з будь-якого вагона і тому на кінцевих станціях не потрібно виконувати ніяких маневрів і перестановок вагонів: машиніст повинен перейти з головного вагона в хвостовий, який при русі поїзда у зворотному напрямку стає головним. Пневматичне обладнання вагона створює запас стисненого повітря, за допомогою якого можна виконувати службові та екстремістичні пневматичні гальмування поїзда, автоматичну роботу розсувних дверей, електричних апаратів, звукового сигналу, склоочисників та ін.

## 2.1 Технічна характеристика вагону 81-717

Вагон метрополітену - моторний, чотиривісний, на двох двовісних поворотних візках, суцільнометалевий, звареної конструкції. Кожен вагон з кабіною керування серії 81-717 і без кабіни керування серії 81-714 є самостійною рухомою одиницею, з будь-якої кількості яких (але не більше восьми) може бути зчеплений склад. Управління поїздом дистанційне за системою багатьох одиниць. Система "багатьох одиниць" взята із залізничного транспорту, і означає те, що керування всіма вагонами складу одночасно в тяговому або гальмівному режимах проводиться з кабіни машиніста першого по ходу руху (головного) вагона, який є (як і всі інші вагони) відокремленим локомотивом. Всі колісні пари вагона мають тягові двигуни, крутний момент від яких передається до колісних пар через карданні муфти та одноступінчасті циліндричні зубчасті передачі. Для входу в пасажирський салон вагон з кожного боку має по чотири дверні отвори, які закриваються розсувними дверима за допомогою приводу з централізованим керуванням.

Гальмівні пристрої вагона включають:

- робоче гальмо - електродинамічний реостатний, що діє при перекладі

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

0032.226325.000.04МР.ПЗ

тягових електродвигунів на генераторний режим

- екстрене гальмо - пневматичний колодковий
- стоянкове гальмо - ручне механічне, що діє на гальмівні колодки лівої сторони тільки одного вагона (Е, Еж-3) блок-гальмо (81 серії), що діє на 1-ю і 4-ту колісну пару.

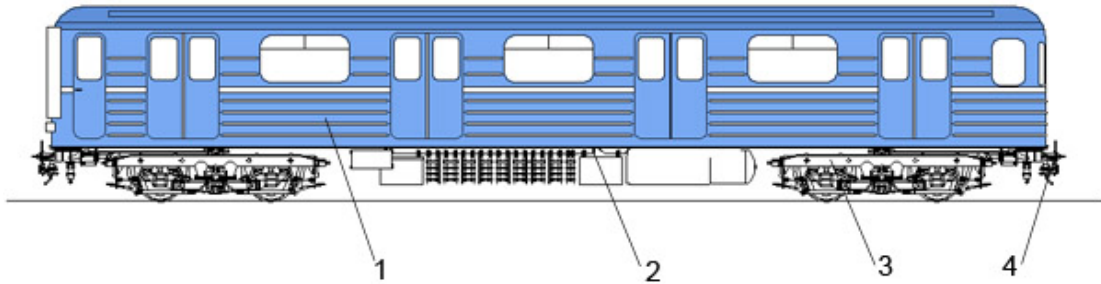


Рисунок 2.1 – Вагон типу 81-717 метрополітену:

- 1 – кузов, 2 – екіпажна частина, 3 – комбіновані автозчеплення,  
4 – гальмівне обладнання

Кузов вагона призначений для розміщення пасажирів та необхідного обладнання. Кузов вагона являє собою зварну суцільнометалеву конструкцію, що складається зі зварених в одне ціле рами, двох бічних стін, лобової та кінцевої частин, даху та металевого настилу підлоги. В обладнання кузова входять також внутрішнє оздоблення та стеля, перегородка (крім 81-714) кабіни машиніста, двері, вікна, вентиляція, поручні, дивани, освітлення.

Рама кузова зварна, є основою кузова і є його опорою на ходові частини. Рама складається з двох поздовжніх, двох торцевих та набору поперечних балок, двох шкворневих балок та чотирьох хребтових, встановлених між торцевими та шкворневими балками з метою передачі поздовжніх навантажень на бічні пояси рами та стінки. Поздовжні та торцеві балки, що утворюють нижній пояс кузова, мають коробчастий переріз заввишки 180 мм; ширина горизонтальних полиць, гнутих із листа товщиною

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

0032.226325.000.04МР.ПЗ



застосовується гофрований металевий настил підлоги (гофрами вздовж вагона). У пристрій рами кузова входять також рамки люків підлоги та різні кронштейни, косинці, скоби, ребра, косинки для підвіски обладнання, електричних та пневматичних апаратів та для розкладки труб внизу рами. Раму кузова зварюють у спеціальних кондукторах, що виключає перекося та забезпечує більшу точність виготовлення.

Бічні та торцеві стінки є металевим каркасом, що складається з вертикальних стійок і підвіконних балок. Вгорі вертикальні стійки пов'язані елементами жорсткості, що утворюють верхній пояс кузова. Внизу вертикальні стійки приварені до нижнього поясу обв'язування кузова. Каркас стін обшитий сталевими листами товщиною 2 мм.

Зварювання окремих секцій стінок кузова виконується електроконтактним зварюванням з подальшим з'єднанням окремих секцій боковин з торцевими стінками та дахом електродугового зварювання в спеціальному кондукторі. Приварювання стінок кузова до рами проводиться переривчастим електродуговим зварюванням через овальні отвори в бічних поясах рами та суцільним швом по нижній кромці обшивки та вертикальній стінці бічного поясу.

Дах виконаний із сталевих омегоподібних дуг завтовшки 2 мм, які спираються на верхній пояс кузова. У поздовжньому напрямку дуги пов'язані паралельними рядами сталевих смуг (стрінгерів). Прорізи, розташовані між поздовжніми бічними смугами та дугами, закриваються спеціальними вентиляційними черпаками. Покрівля виготовлена з листової сталі завтовшки 1,5 мм. Конструкція даху дозволяє проводити її складання, як повністю, так і по секціях.

## 2.2 Екіпажна частина вагону метрополітену

Кожен вагон має два двовісні моторні поворотні візки. Візок є ходовою

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	0032.226325.000.04МР.ПЗ				





У вертикальних стінках поздовжніх балок є наскрізні отвори, які вставляють литі кронштейни для підвіски важелів гальмівної передачі, приварювані з обох боків балки. Знизу поздовжніх балок у середній частині приварюють сталеві литі кронштейни з косими зубами, до яких прикріплюють пружні повідці, що зв'язують раму візка з колісними парами вагона. У поздовжні балки над буксами вварюють втулки під запобіжні штирі букс, які необхідні у разі зламу повідців та втрати зв'язку колісної пари з рамою візка. По торцях поздовжніх балок приварені листові кронштейни для кріплення гальмівних циліндрів та кріплення блок-гальма, а також гребінчасті накладки для кріплення кінцевих зігнутих компенсаційних повідців. Повідки служать для зв'язку колісної пари з рамою візка. Кожна букс пов'язана з рамою двома прямими і одним вигнутим повідками. Усього на вагоні 24 повідки (16 прямих та 8 вигнутих). Крім того, на кожній поздовжній балці, в районі розташування центрального підвішування, є вуха для кріплення гідравлічного гасника коливань. Креслення рами візка показано на рисунку 2.4.

На поперечних балках приварені кронштейни підвіски тягових двигунів, кронштейни кріплення реактивної тяги, кронштейн редуктора підвіски і кронштейн кріплення комплексного запобігання підвіски редуктора. З боку установки бруса центрального підвішування для обмеження його поздовжніх переміщень на поперечних балках приварені плоскі ковзуни. По кінцях поперечних балок вварені опорні гнізда зі змінними втулками під валики сережок центрального підвішування. У нижніх стінках балок під опорними гніздами вирізано вікна для проходу підвісних сережок центрального підвішування. Вікна армовані по всьому периметру спеціальними коробочками. Кронштейн для підвішування корпусу редуктора цільнокований, з вушком і стрижневою частиною. Стрижень кронштейна проходить крізь отвори в обох вертикальних стінках поперечної балки та обварюється.

						0032.226325.000.04MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			





### 2.3 Конструкція колісних пар вагонів метрополітену

Колісні пари сприймають навантаження вагона і направляють його рейковою колією. Колісні пари зазнають поряд з постійно діючим навантаженням від ваги вагона та пасажирів також і додаткові динамічні зусилля - вертикальні удари від стиків та нерівностей колії та горизонтальні зусилля при проходженні кривих ділянок колії.

Кожна колісна пара включає такі елементи: вісь, два підгумовані або цілокатані колеса, редукторний вузол, дві букси. Діаметр вісі за її довжиною неоднаковий. На частини напресовують колеса, тому, крім напруги, вигину і кручення, вони відчувають напругу стиснення від напресованих на них колісних центрів. На підматочинну частину насаджують у гарячому стані лабіринтні кільця для ущільнення корпусів букс. Кінцеві частини осі – шийки сприймають вертикальне навантаження від ваги вагона. На шийки у гарячому стані напресовують внутрішні кільця буксових підшипників. Різьбові частини на кінцях осі призначені для загвинчування осьових гайок, якими закріплюють буксові підшипники. Для запобігання концентрації напруги всі сполучення ділянок одного діаметра з ділянками іншого діаметру виконують плавними. Їх називають жолобниками.

Редуктор призначений для передачі моменту, що крутить, з валу якоря тягового двигуна через карданну муфту на колісну пару з урахуванням наявного передатного відношення. Редуктор колісної пари одноступінчастий циліндричний із косим зубом. Передатне відношення редуктора 5,33. Монтується він на подовженій маточині або втулці колеса.

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	0032.226325.000.04МР.ПЗ				

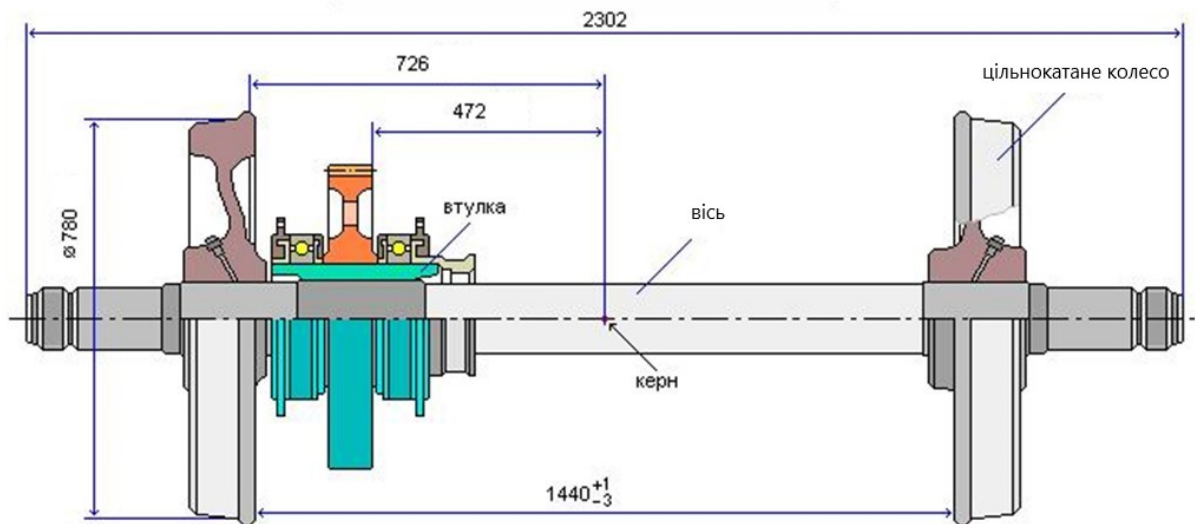


Рисунок 2.6 – Схема колісної пари вагону метрополітену

Тяговий редуктор складається з наступних елементів:

- великого зубчастого колеса, напресованого на подовжену маточину або втулку першого колеса
- шестерні, виконаної заодно з валом і що знаходиться в зачепленні із зубчастим колесом
- двох великих підшипників - кулькового та роликового, також напресованих на подовжену маточину колеса або втулку
- двох великих лабіринтних кришок і з лабіринтними кільцями та
- двох ущільнювальних кілець роздільного мастила та, встановлених з внутрішньої сторони великих підшипників
- двох малих підшипників - кулькового та роликового, напресованих на вал шестерні
- ущільнювальних кілець роздільного мастила та , розташованих з внутрішньої сторони малих підшипників
- запірною лабіринтного кільця, встановленого із зовнішнього боку малого роликового підшипника
- шайби та трьох болтів, що кріплять малий кульковий підшипник

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

0032.226325.000.04MP.ПЗ



Оскільки в зачепленні знаходяться одночасно не менше двох зубів, навантаження на кожний зуб зменшується. Негативною стороною косозубої передачі є виникнення осьового зміщення і торцевий тиск, що дорівнює добутку окружної швидкості на тангенс кута нахилу зубів, навантаження на кожен зуб зменшується. Профілі робочих поверхонь зубів окреслені по евольвенті. Перевагою евольвентного зачеплення є простота виготовлення зубчастих коліс методом обкатки шляхом нарізування черв'ячними багатозахідними фрезами. Зубчасті колеса виготовляють цільноштапованими, а шестерні цілюкатанними, причому шестерня виготовлена як одне зі своїм валом. Зуби шестірні піддають об'ємному загартування і шліфування, а зубці зубчастого колеса залишають сирими. Це забезпечує однакову довговічність зубчастої пари.

## 2.4 Технологія формування колісної пари

Формування колісної пари - процес комплектування та з'єднання окремих елементів колісної пари в одне ціле. Формування роблять на 400-тонному горизонтальному гідравлічному пресі. Прес обладнаний манометрами для контролю величини пресового тиску і індикаторним пристроєм, що записує, за допомогою якого записується діаграма зміни тиску при напрусуванні. Діаграма записується в координатах: по вертикалі - тиск у тоннах, по горизонталі - довжина ділянки, що напрусується.

Крива зміни тиску на діаграмі має бути трохи опуклою вгору і поступово зростати до кінцевого тиску, що характеризує міцність з'єднання. При запрусуванні коліс тиск 50-80 тонн (натяг 0,08-0,22 мм), при запрусуванні зубчастого колеса тиск 30-45 тонн (натяг 0,09-0,15 мм).

Перед запрусуванням необхідно зачистити посадкові поверхні колісних центрів та осі та перевірити на магнітному дефектоскопі вісь та зубчасте колесо.

						0032.226325.000.04MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

Першим на вісь напресовують перший колісний центр підгумованого колеса з подовженою маточкою (або втулку для цілокатного колеса). Потім подовжену маточину обробляють на токарному верстаті під посадку деталей редуктора та перевіряють її на магнітному дефектоскопі.

Складання редукторного вузла.

Монтаж великого вузла редукторного виконується в наступній послідовності:

- на подовжену маточину першого колісного центру (або втулку для цілокатного колеса) встановлюють лабіринтну кришку редуктора (у вільному стані), потім нагріті лабіринтне кільце та шарикопідшипник. Після підшипником встановлюється пара кілець роздільного мастила;

- після остигання маточини (втулки) до температури навколишнього середовища на неї напресовують зубчасте колесо з натягом 0,09-0,15 мм під тиском 30÷45 тонн;

- встановлюють другу пару кілець роздільного мастила та роликотпідшипник;

- у нагрітому стані насаджують запірне кільце та вільно другу лабіринтну кришку редуктора.

Нагрів підшипників, лабіринтних кілець і кільця запірного ведуть в трансформаторному маслі, до температури 120°C. Після складання деталей великого вузла редукторного на вісь напресовують другий колісний центр, попередньо підібраний по натягу.

Складання малої шестерні:

- збирають комплект малої шестерні з лабіринтовими ущільненнями, шарикотпідшипником та внутрішнім кільцем роликотпідшипника

- шарикотпідшипник закріплюється торцевою шайбою

- встановлюють у корпусі редуктора зовнішнє кільце роликотпідшипника

- заводять через горловину корпусу зібраний комплект малої шестерні

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

0032.226325.000.04МР.ПЗ



## **3 УДОСКОНАЛЕННЯ ВИПРОБУВАННЯ МЕХАНІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ЕЛЕКТРОПОЇЗДА**

Для удосконалення випробування механічного обладнання електропоїзда виконаємо аналіз пошкоджень механічного обладнання.

В основному пошкодження можуть бути розділені на дві групи: пошкодження колісних пар, пошкодження рами візка та елементів ресорного підвішування.

### **3.1 Аналіз пошкоджень екіпажної частини**

Пошкодження рами візка. У рамі можуть зустрітися наступні несправності: тріщини по цілому перерізу й у зварних швах, зношування опор.

Під час експлуатації буферний брус сприймає на себе удари, які приводять до руйнування зварних швів, ослабленню з'єднань. Тріщини й надриви в рамі візка виявляють методом кольорової дефектоскопії.

Для нормальної роботи візка необхідно, щоб осі колісних пар були перпендикулярні до поздовжньої осі рами, а середини відстаней між внутрішніми гранями колісних пар збігалися із цією віссю. Щоб досягти правильного розташування колісних пар у рамі візка, необхідно витримати певні розміри рами й букс, які перевіряють оптичним способом.

Пошкодження колісних пар. Колісні пари є одним з найвідповідальніших вузлів від надійної роботи якого залежить безпека руху. В роботі виконаний аналіз пошкоджень механічного обладнання. Основні причини пошкоджень механічного обладнання приведені в таблиці 3.1.

Найбільш характерними пошкодженнями механічного обладнання електровозів є тріщини рами та вісі колісної пари, руйнування підшипників.

					0032.226325.000.04МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Ефективним способом діагностування колісних пар є впровадження вібраційного діагностування основних вузлів. Для діагностування колісних пар та рам візків доцільно використовувати методи неруйнівного контролю та діагностування.

### 3.2 Методи неруйнівного контролю колісних пар та рам візків

Існує декілька методів неруйнівного контролю (НК). Це оптичні методи, рентгенівські, вихреструмові, магнітопорошкові, акустичні. Розглянемо коротко особливості кожного методу.

Оптичні методи, хоча і знайшли широке застосування, дозволяють виявляти тільки поверхневі дефекти (тріщини, повзуни та ін.) в металевих виробах і не дозволяють виробляти візуалізацію внутрішньої будови об'єкта, оскільки для світлового променя метал є непрозорим.

Рентгенівський метод заснований на високій проникаючій здатності рентгенівського випромінювання, нині знайшов найбільше застосування в дефектоскопії.

Рентгенодефектоскопія заснована на поглинанні рентгенівських променів, які залежать від щільності середовища і атомного числа елементів, що утворюють матеріал середовища. Наявність таких дефектів, як тріщини, раковини або включення чужорідного матеріалу, призводить до того, що промені, які проходять через матеріал, ослабляються в різній мірі. Реєструючи розподіл інтенсивності променів, що проходять, можна визначити наявність і розташування різних неоднородностей матеріалу.

Проте, будучи носіями побічної шкідливої дії на живий організм, усе більш широко замінюються ультразвуковими методами. Крім того технічна реалізація рентгенівських методів вимагає значних витрат на устаткування і особливих умов для його експлуатації. Істотним недоліком рентгенівських методів є опромінення людини.

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	0032.226325.000.04МР.ПЗ				

Вихреструмний метод заснований на збудженні вихрових струмів змінним магнітним полем датчика дефектоскопа. Вихрові струми створюють своє поле, протилежне по знаку збуджуючому. В результаті взаємодії цих полів змінюється повний опір котушки датчика, що і відмічає індикатор. Свідчення індикатора залежать від електропровідності і магнітної проникності металу, розмірів виробу, а також змін електропровідності із-за структурних неоднорідностей або порушень цілісності металу.

Датчики струмовихрєвих дефектоскопів виконують у вигляді котушок індуктивності, всередині яких поміщають виріб (прохідні датчики), або які накладають на виріб (накладні датчики). Застосування струмовихрєвої діагностики дозволяє автоматизувати контроль якості дроту, витків, труб, профілів, які рухаються в процесі їх виготовлення зі значними швидкостями, вести безперервний вимір розмірів. Струмовихрєвими дефектоскопами можна контролювати якість термічної обробки, оцінювати забрудненість високоелектропровідних металів (міді, алюмінію), виявляти поверхневі тріщини завглибшки в декілька мікрметрів при протяжності їх в декілька десятків доль міліметрів.

Хоч вихреструмний метод застосовується для контролю осей, він не дозволяє виявляти ушкодження в товщині осі, а використовується тільки для виявлення поверхневих ушкоджень, тому неможливе його застосування в автоматизованій системі неруйнівного контролю осей колісних пар.

Магнітопорошковий метод неруйнівного контролю використовують при пошуку поверхневих і підповерхневих мікроректів в зварних швах, деталях і конструкціях з феромагнітних матеріалів. З цією метою виріб намагнічують і покривають магнітним порошком, який осідає на неоднорідностях магнітного поля в зоні ректів, формуючи видимі "сліди" ректів.

Цей метод дозволяє виявляти тонкі, невидимі оком поверхневі ректи, матеріалу типу тріщин (гартівних, зварювальних, шліфувальних, втомних, штампувальних, ливарних та ін.), волосовин, флокєнів, заходів, заковів,

					0032.226325.000.04MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

надривів, рихтувальних тріщин, деяких видів розшарувань.

При магнітопорошковому контролі на деталь наносять суспензію із зваженими частками феромагнітного порошку. При цьому довколишні частки притягуються до дефектних місць і утворюють видимі неозброєним оком валики порошку, оскільки ширина цих валиків у декілька разів більша, ніж ширина розкриття дефектів. По характеру осідання порошку (формі і розмірам валиків) можна судити про протяжність дефектів, а у ряді випадків про тип цих дефектів.

При магнітопорошковій дефектоскопії контроль включає наступні основні етапи:

- підготовка поверхонь деталей;
- намагнічування деталей;
- обробка поверхні деталі суспензією або сухим порошком;
- огляд деталей;
- размагнічування.

Магнітопорошковий метод застосовується для контролю осей. Але він не дозволяє виявляти ушкодження в товщині осі, а використовується тільки для виявлення поверхневих ушкоджень, тому неможливе проведення повного контролю. Крім того, вимагаються великі тимчасові і фінансові ресурси для контролю. Великий вплив на результати контролю має "людський чинник".

Акустичні методи контролю поділяються на дві підгрупи: засновані на випромінюванні і прийомі хвиль; засновані тільки на прийомі хвиль. Класифікація методів приведена на рисунку 3.1.

Емісійний - акустична емісія (АЕ). Метод заснований на виявленні пружних хвиль, генерованих раптовою деформацією напруженого матеріалу.

Ці хвилі поширюються від джерела до датчика (датчиків), де вони перетворюються в електричні сигнали. Прилади АЕ вимірюють ці сигнали і відображують дані, на основі яких оператор оцінює стан і поведінку структури під напругою.

									0032.226325.000.04MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						



Незважаючи на усі свої переваги, АЕ має великий недолік: часто неможливо локалізувати дефект. Дефект може знаходитися не в небезпечній зоні і бути допустимим. Тому можливе помилкове відбракування придатної осі.

Ультразвукові методи дефектоскопії діляться на дві великі групи: методи віддзеркалення і методи проходження.

Методи віддзеркалення засновані на випромінюванні ультразвукової хвилі і прийомі сигналів, відбитих від меж розділу середовищ. Основні інформативні параметри сигналів, що приймаються: інтервал часу і характеристики сигналу (амплітуда, фаза, частота).

Прилади, засновані на методах віддзеркалення, діляться на ехоімпульсні і з безперервним випромінюванням. У системах візуалізації ультразвукових полів використовуються ехоімпульсні методи.

Методи проходження засновані на випромінюванні ультразвукових хвиль в об'єкт і прийомі хвиль, що пройшли через об'єкт. У цих методах втрачається такий істотний інформативний параметр як інтервал часу, що не дозволяє їх використовувати для отримання зображень. Методи проходження у вою чергу діляться на тіньові, тимчасові і фазові.

Прилади ехоімпульсної дефектоскопії, як правило, можуть бути використані для реалізації тіньового методу.

### **3.3 Методи вібраційного діагностування вузлів механічного обладнання**

В останні роки при відмові від обслуговування й ремонту техніки за регламентом її висновок у ремонт на практиці здійснюється трьома основними способами:

- робота до відмови;
- постановка техніки в ремонт за результатами експертних оцінок;

					0032.226325.000.04МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– постановка техніки в ремонт за результатами діагностики й прогнозування технічного стану.

Але значний економічний ефект дає тільки третій спосіб. Успішне його використання дозволяє:

- скоротити час, обсяг ремонту й кількість запасних частин не менш ніж на третину;
- зменшити число раптових відмов у десятки раз;
- скоротити упущений прибуток через простої в кілька раз.

Для останнього способу необхідна повна діагностика об'єкта, причому бажано виявляти всі дефекти, що впливають на ресурс, задовго до відмови, щоб підготуватися до ремонту.

У механіці й електромеханіці, як показала практика, ефективна діагностика машин можлива, в основному, по вібрації, тому що:

- коливальні сили виникають безпосередньо в місці появи дефекту;
- вібрація містить максимальний обсяг діагностичної інформації;
- діагностувати можна на місці, без розбирання й зупинки устаткування.

Такі загально визнані методи як контроль температури, аналіз змащення й інші при правильному підході практично не потрібні - їх заміняє аналіз вібрації.

Вимірювання і аналіз вібрації. Вібрація й шум - природні процеси, що протікають у машинах і встаткуванні, і збуджуються вони тими ж динамічними силами, які є причинами зношування й різного виду дефектів.

Природно, що вібрація й шум трансформуються друг у друга на границях газової й твердих середовищ, а людей безпосередньо сприймає звук, і лише в обмеженому низькочастотному діапазоні - вібрацію.

За перехід вібрації в шум відповідає коливальна швидкість, яка прямо пропорційна звуковому тиску в повітрі близько вібруючої поверхні. Тому й норми на вібрацію, як правило, обмежують коливальну швидкість машин і встаткування.

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					0032.226325.000.04МР.ПЗ	

Але вібраційний контроль і вібраційна діагностика - різні практичні завдання. У діагностиці дефект визначається коливальною силою, що діє в зоні дефекту, а сила зв'язана лінійно з коливальним прискоренням, а не зі швидкістю. Тому в діагностиці часто користуються вимірами віброприскорення, а для вібраційного контролю машин додатково вимірюють і виброшвидкість, причому лише в обмеженому низькочастотному діапазоні.

Для виміру вібрації, як правило, використовуються датчики віброприскорення, що працюють на п'єзоефекті. У таких датчиках електричний заряд на виході пропорційний діючій на датчик силі. Лише в ряді стаціонарних систем контролю вібрації великих машин з підшипниками ковзання використовуються датчики коливального зсуву, що вбудовуються в підшипник (по два датчики на підшипник). Ці датчики дозволяють вимірювати траєкторію руху центру вала в підшипниках (його орбіту) і, тим самим, безпосередньо визначати величину зношування вкладишів.

Для виміру шуму використовуються мікрофони з різними способами перетворення звукового тиску в електричний сигнал. Для діагностики машин іноді використовуються спрямовані мікрофони, що дозволяють визначати напрямок на точку випромінювання шуму. Практично мікрофоном можна дистанційно вимірювати вібрацію об'єкта, а конкретно величину виброскорості. Украй рідко користуються для діагностики вимірами шуму, тому що в повітрянім середовищі змішується практично без втрат шум від багатьох джерел, і детально аналізувати шум конкретного джерела вкрай складно в присутності інших джерел шуму. Крім того, завдання виділення конкретних складових шуму, обумовлених появою дефекту, ускладнюють при поширенні можливі його переломлення, багаторазові відбиття й т.п. Є ще одна причина, по якій не рекомендується активно використовувати шум для діагностики машин. Ця причина - необхідність обліку форми коливань об'єкта в безпосередній близькості від місця виникнення дефекту. Тут значний внесок як у вібрацію, так і в шум вносять псевдосоставляющие складних форм, тобто

						0032.226325.000.04MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

ті, які в міру видалення від джерела трансформуються в просту (хвильову) форму. При вимірі шуму на відстані інформація, наявна в псевдошумі або псевдовібрації, пропадає.

Після перетворення сигналу вібрації (шуму) в електричний сигнал, останній необхідно ретельно аналізувати, одержуючи, а не втрачаючи діагностичну інформацію. До приладів, що аналізують, у діагностиці пред'являються самі тверді вимоги. До типових операцій, які повинні виконувати прилади, що аналізують вібрацію, слід віднести:

Визначення рівня (загального) вібрації в смузі частот, необхідної стандартами вібраційного контролю й у необхідних стандартах одиниць измерения.

Спектральний аналіз вібрації, тобто поділ вібрації на складові різної частоти, обумовлені природою коливальних сил.

Аналіз коливань потужності окремих складових вібрації, попередньо виділених із сигналу вібрації. Це, як правило, аналіз спектра, що обгинає випадковий високочастотного сигналу вібрації, аналіз форми сигналу вібрації, тобто аналіз розгорнення сигналу (робота в режимі осцилографа).

Причини виникнення вібрації. У кожній машині діють динамічні сили. Ці сили - джерело не тільки шуму й вібрації, але й дефектів, які змінюють властивості сил і, відповідно, характеристики шуму й вібрації. Можна сказати, що функціональна діагностика машин без зміни режиму їх роботи - це вивчення динамічних сил, а не властиво вібрації або шуму. Останні просто містять у собі інформацію про динамічні сили, але в процесі перетворення сил у вібрацію або шум частина інформації губиться. Ще більше інформації губиться при перетворенні сил і чиненої ними роботи в теплову енергію. Саме тому із двох видів сигналів (температура й вібрація) у діагностиці перевага слід віддати вібрації.

Основні динамічні сили, що діють у машинах роторного типу, збуджуючи їх вібрацію або шум. Із сил механічної природи необхідно

						0032.226325.000.04МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

виділити сили:

- обумовлені неврівноваженістю вузлів що обертаються;
- кінематичні сили, обумовлені нерівністю взаємодіючих поверхонь і, насамперед, поверхонь тертя в підшипниках;
- параметричні сили, обумовлені насамперед змінною складовою жорсткості обертових вузлів або опор обертання;
- сили тертя, які далеко не завжди можна вважати механічними, але майже завжди вони є результатом сумарної дії безлічі мікроударів з деформацією (пружної) контактуючих мікронерівностей на поверхнях тертя;
- сили ударного виду, що виникають при взаємодії окремих елементів тертя, що супроводжується їхньою пружною деформацією.
- Із сил електромагнітного походження в електричних машинах слід

виділити:

- магнітні сили, обумовлені змінами магнітної енергії в певному просторі, як правило на ділянці повітряного зазору;
- електродинамічні сили, обумовлені взаємодією магнітного поля з електричним струмом;
- сили, обумовлені ефектом магнітострикції, тобто зміною лінійних розмірів магнітного матеріалу під дією магнітного поля.

Із сил аеродинамічного походження необхідно виділити:

- піднімальні сили, тобто сили тиску на тіло
- сили тертя на границі потоку й нерухливих частин машини
- пульсації тиску в потоці, обумовлені його турбулентністю, зривом вихрів і т.п.

Сили гідродинамічного походження, в основному, мають ту ж природу, що й у газовій середовищі, але до них додаються ще й пульсації тиску через кавітацію, яка за певних умов може виникати в потоці рідини. Динамічні сили в машинах збуджують вібрацію або безпосередньо, або сили збуджують шум, а шум - вібрацію корпусу. Вібрація, залежно від природи збуджуючих її сил,

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

0032.226325.000.04МР.ПЗ

може бути або детермінованої (частіше періодичною), або випадковою.

### 3.4 Обладнання для вібраційного діагностування візків

Прикладом обладнання яке використовується для вібраційного діагностування є віброакустичний комплекс Прогноз який використовують в локомотивних депо Укрзалізниці. Особливо слід виділити вібраційне діагностування колісно-моторних блоків (КМБ) локомотивів. На відміну від неруйнівного контролю, вібраційне діагностування дозволяє перевірити вузол без його розбору, шляхом вивішування локомотива, візки або одного КМБ на домкрати з подальшим «прокручуванням» коліс і контролем віброприскорень за допомогою спеціальних датчиків. Місця контролю віброприскорень на візку електровоза показано на рисунку 3.2.

Всі види дефектів обладнання що має частини які обертаються за допомогою вібраційного діагностування визначаються за кілька місяців до виникнення небезпечної відмови, що дозволяє планувати обсяг і терміни проведення ремонтних робіт.

Комплекс призначений для оцінки технічного стану колісно-моторних блоків та визначення залишкового ресурсу. За результатами діагностування визначається проміжок часу до наступної обов'язкової перевірки підшипників кочення й зубчастих передач за результатами одного циклу виміру, обробки, реєстрації й аналізу сигналів вібрації й частоти обертання механічних вузлів.

Остаточний висновок за результатами діагностування вузла дається у вигляді однієї із двох рекомендацій вузлу який діагностується:

– "в експлуатацію допустити";

– "замінити підшипник".

Рекомендація видається з урахуванням попередніх результатів діагностування, якщо вони були.

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

0032.226325.000.04МР.ПЗ



Рисунок 3.2 - Місця контролю віброприскорень на візку електровоза

Оцінка технічного стану підшипників проводиться шляхом визначення відносної кількісної оцінки розвитку наступних основних дефектів що виникли у процесі експлуатації:

- бій вала (підвищене обертове навантаження на підшипник, невідповідність ротора, обкатування зовнішнього кільця);
- неоднорідний радіальний натяг (є звичайно дефектом складання, наслідком посадки підшипника на вал, діаметр якого більше допустимого, перекосу обертового кільця, підвищеного осьового навантаження на підшипник);
- перекіс зовнішнього кільця (викликається звичайно при монтажі підшипника в наслідок дефектів посадкового місця);
- зношування зовнішнього кільця (майже завжди відбувається локально, змінюючи коефіцієнт тертя катання на окремих ділянках поверхні зовнішнього кільця);
- раковини (тріщини) на зовнішньому кільці (діагностичні ознаки раковини й тріщини практично збігаються);

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	0032.226325.000.04МР.ПЗ					

- зношування внутрішнього кільця ( як правило, відбувається локально, але зона підвищеного коефіцієнта тертя охоплює область, що перевищує відстань між точками контакту найближчих двох тіл кочення);
- раковини на внутрішньому кільці;
- зношування тіл кочення й сепаратора (відноситься до найнебезпечніших дефектів, тому що розвивається досить швидко);
- раковини й відколи на тілах кочення (також відноситься до числа найнебезпечніших дефектів, що й найбільш швидко розвиваються);
- дефекти групи поверхонь кочення;
- проковзування кільця в посадковім місці (є досить рідким дефектом і може виявлятися лише в тому випадку, якщо проковзування відбувається в момент виміру вібрації);
- дефекти змащення (недолік змащення або наявність у ній сторонніх включень);
- не ідентифікований дефект.

Перелік дефектів може бути уточнений і доповнений при збільшенні кількості вимірювань.

Кожний з виявлених дефектів, відповідно до встановленого допустимого порога, відноситься до однієї з наступних ступенів розвитку дефекту:

- "слабкий дефект",
- "середній дефект",
- "сильний дефект".

Граничні значення для кожного з дефектів підшипника встановлюються користувачем при конфігурації програми й можуть, і повинні бути уточнені в процесі експлуатації при досить великій кількості статистичного матеріалу (не менш тридцяти експертних оцінок для кожного порога, що уточнюється, дефекту по ступеню його розвитку).

Для вузла що діагностується (підшипника), у цілому, визначено п'ять

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	0032.226325.000.04МР.ПЗ					

класифікаційних станів:

– "слабкий дефект" (можливо, виявлені ознаки дефекту, що зароджується; немає підстав для занепокоєння),

– "середній дефект" (дефект, що зароджується; слід продовжити спостереження за дефектом при наступних заходах на діагностику),

– "сильний дефект" (розвитий дефект; вимагає обмеження строку експлуатації до наступної перевірки),

– "замінити підшипник" (подальша експлуатація підшипника неприпустима, тому що може привести до його руйнування),

– "неідентифікований дефект" (програма автоматичної діагностики виявила неідентифікований дефект або не виявила дефектів зовсім, при наявності явних ознак останнього, наприклад, при прослуховуванні).

Ці стани визначаються для кожного вузла, який діагностується, на основі ступеня розвитку всіх дефектів і з урахуванням попередніх діагностик цього вузла або вузлів такого типу.

Кількісна оцінка залишкового ресурсу підшипників (строк наступного діагностування) визначається програмою залежно від виду виявленого дефекту, ступені його розвитку й від значення загального ресурсу підшипника, встановленого на даному конкретному вузлі. Для локомотивів установлені наступні співвідношення між ступенем розвитку дефекту й строком наступного діагностування:

– при слабкому дефекті - наступний строк діагностування через один ТО-3;

– при середньому дефекті - наступне діагностування на наступному ТО-3;

– при сильному дефекті - наступне діагностування при будь-якому черговому заході локомотива на ТО або ПР.

Кількісне значення залишкового ресурсу (термін наступного діагностування) може бути уточнений в процесі експлуатації комплексу при

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

0032.226325.000.04МР.ПЗ

достатньо великій кількості статистичного матеріалу з урахуванням критеріїв безпеки й економічної доцільності.

Методи діагностування підшипників кочення працюючої машини, закладені в програму, засновані на аналізі вібрації, створюваної силами тертя в підшипниках.

Специфіка сил тертя катання в обертових вузлах машин така, що при відсутності дефектів у підшипниках кочення вони стабільні за часом. При недостатній точності виготовлення підшипника, його монтажу в посадковим місці, а також при зношуванні поверхні тертя, сили тертя в цьому підшипнику перестають бути стабільними й залежать від кута повороту обертового кільця або сепаратора.

Постійна сила тертя збуджує випадкову вібрацію підшипника в широкій смузі частот. Максимум її спектральної щільності звичайно припадає на частоти порядку 2-10 кГц. Частота спектральної щільності залежить у першу чергу від швидкості обертання й розмірів підшипника, якості поверхонь тертя й змащення. З появою дефектів а, отже, нестабільності сили тертя, порушувана випадкова вібрація стає нестационарною, тобто величина спектральної щільності на будь-якій частоті періодично змінюється в часі. Саме нестационарність випадкової вібрації підшипникових вузлів є об'єктивною ознакою появи дефектів тертьових поверхонь у підшипниках кочення.

Кількісні характеристики нестационарної випадкової вібрації визначаються в результаті спектрального аналізу вібрації. Нестационарність, що представляє собою амплітудну модуляцію високочастотної вібрації періодичним процесом, наприклад, з періодом обертання вузлів підшипника, приводить до того, що в спектрі, що огинає крім випадкових складових з'являються ще й гармонійні, із частотою обертання цих вузлів. У результаті по частотах складових, що з'явилися, визначаються види наявних у підшипнику дефектів (ідентифікація), а по перевищенню амплітуд цих

						0032.226325.000.04MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

складових над лінією тла - глибина кожного з виявлених дефектів. Цей метод аналізу сигналів вібрації (метод, що огинає) дозволяє виявити й ідентифікувати всі основні види дефектів, що визначають ресурс підшипникових вузлів. Для виявлення сильно розвинених дефектів аналізуються прямі спектри вібрації. Можливі варіанти застосування комплексу:

- в експлуатації (ТО-3, ПР-1);
- для діагностування агрегатів що поступають у ремонт, і що направляються після ремонту в експлуатацію.

### **3.5 Удосконалення випробувань механічного обладнання вагону метрополітену**

Для удосконалення випробування механічного обладнання пропонується впровадити в процес випробування колісної пари вагону метрополітену після випробувань.

Розглянемо існуючий процес та обладнання для випробування колісних пар.

Після монтажу букс і редуктора проводять остаточну перевірку якості монтажу колісної пари, оглядаючи й обстукуючи кріпильні деталі молотком масою не більш 0,5 кг. При обстукуванні не повинно бути чути деренчання деталей.

Для обкаточних випробувань використовується стенд (рисунок 3.3) з технічними даними і характеристиками :

габарити, мм

а) довжина	2800
б) ширина	1700
в) висота	1620

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					0032.226325.000.04МР.ПЗ	

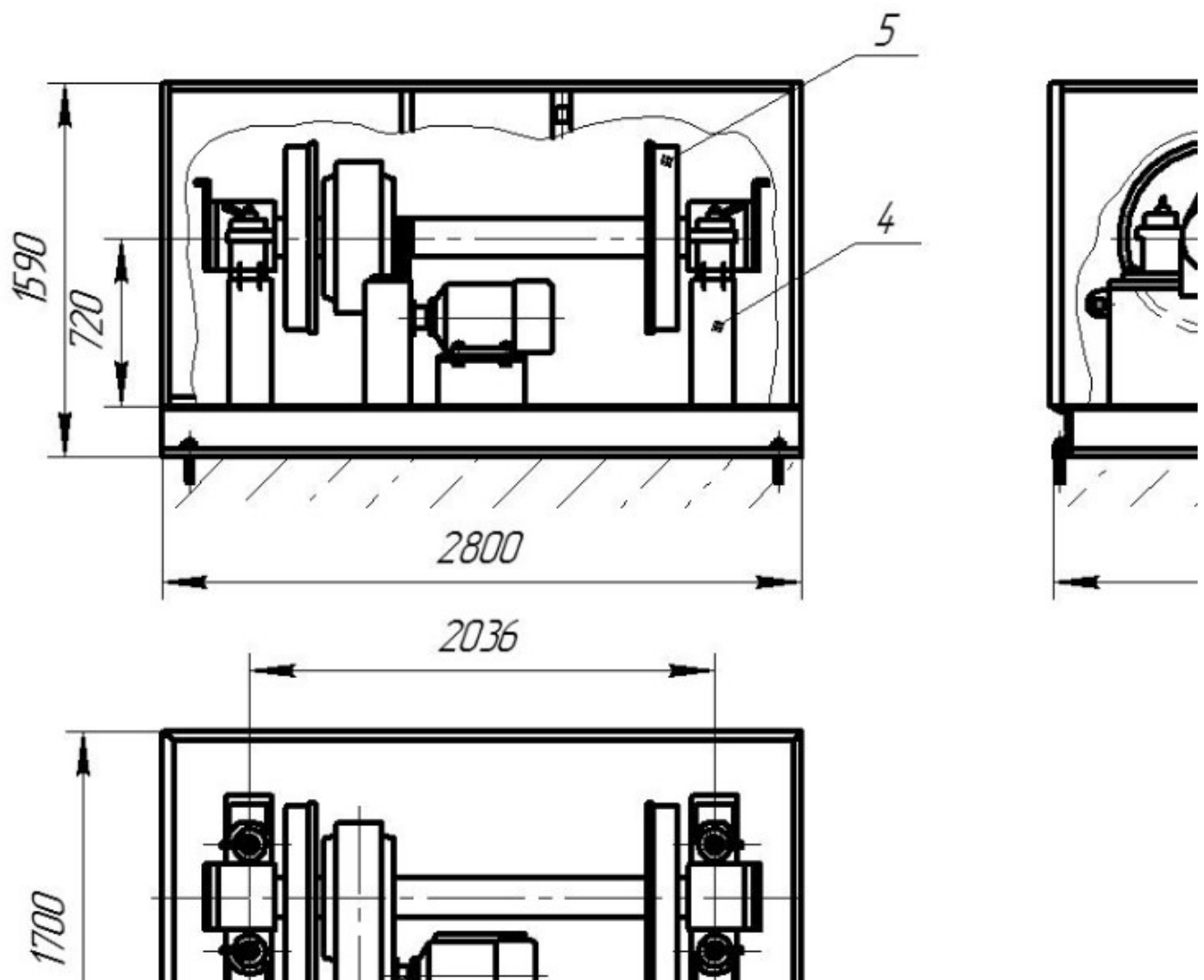


Рисунок 3.3 – Стенд для обкатки колісних пар:  
 1 – рама стану; 2 – муфта; 3 – електродвигун; 4 – стійки; 5 – колісна пара в зборі

привідна потужність, кВт	18,5
електродвигун АИР160ПГУХА1,1, об/хв.	3000
передаточна кількість пасової пари	1,125
передаточна кількість редуктора колісної пари	5,33
кількість обертів колісної пари, об/хв.	500
діаметр шківів, мм	125/140

Стенд складається з рами – зварної конструкції, виконаної з швелера.

					0032.226325.000.04МР.ПЗ		Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

Верхня частина рами зашита листом та має майданчик для опор, фіксатора, плити підмоторну і гвинтами регулювання плити підмоторної з двигуном. До верхньої частини рами кріпиться огорожа – каркас, зварений з кутка і оббитий сіткою. У передній частині є хвіртка з кінцевим вимикачем, який зблокований з пуском електродвигуна при зачиненій хвіртці. Плита під моторна виконана як зварна конструкція до якої кріплять електродвигун. Плита встановлена на шарнірах, поворот якої здійснюється гвинтівною парою, на опори встановлюють та центрують колісні пари. Для кріплення редуктора колісної пари в горизонтальному положенні та регулювання при соосності редуктора з електродвигуном існує фіксатор. Регулювання та закріплення – гвинтівні.

Порядок випробувань. Колісну пару встановлюють на стенд з опорою на букси, на кінчну частину шестерні надягають знімну частину сполучної муфти і, піднімаючи корпус редуктора, сполучають обидві частини сполучної муфти, закріплюючи їх болтами і, фіксуючи положення редуктора важелем. Установивши колісну пару на стенді, здійснюють перевірку якості зубцюватого зачеплення. Для цього відкривають пробку оглядового люка у верхній половині корпусу редуктора; змазують фарбою (синькою) шість зубів зубчастого колеса по всій довжині зуба і, повернувши вручну колісну пару за обід в одну й іншу сторону до обкатування зубів шестірні пофарбованими зубами зубчастого колеса, перевіряють пляма контакту на зубах шестірні; при цьому площа зіткнення робочих поверхонь зубів повинна бути по довжині зуба не менш 70%, а по висоті - не менш 35% для всіх типів колісних пар. При гіршій характеристиці зачеплення перевіряють якість монтажу редуктора чи його виготовлення.

Після перевірки зачеплення в корпус редуктора заливають 0,2 - 0,4 л. веретенного масла АК. Потім закривають кришку люка і роблять обкатування колісної пари при частоті обертання 300 об/хв. протягом 15 хвилин в одну сторону і 15 хвилин - в іншу. У процесі обкатування температура нагрівання корпусу букс і редуктора в місці розташування підшипників не повинна

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	0032.226325.000.04МР.ПЗ				

перевищувати 20°C, при цьому вимірі роблять контактним термометром чи термодатчиком з вимірювальним приладом. Контролюють якість ущільнень редуктора й букс (пропуск чи течію змащення не допускається), оцінюють на слух плавність роботи зчеплення, підшипників (удари, вібрація, підвищений шум у зчепленні не допускаються). Колісні пари, що пройшли обкатні випробування на стенді, фарбують.

Для виконання діагностування якості складання колісних пар пропонується впровадження ручного віброметра FLUKE 805. Загальний вигляд приладу показано на рисунку 3.4.



Рисунок 3.4 – Ручний вимірювач вібрації

Інноваційна конструкція цього вібраційного датчика спрямована на мінімізацію розсіювання вимірів, що викликається кутом нахилу приладу та силою натискання. Забезпечено послідовність якості даних як у нижньому, так

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

0032.226325.000.04MP.ПЗ

і в верхньому діапазонах вимірювань.

Даний вібраційний датчик оснащений чотирьома рівнями шкали, що дозволяють оцінити ступінь серйозності проблеми для загального рівня вібрацій та стану підшипників. Можливість експорту даних через USB дозволяє зручно обробляти та зберігати отриману інформацію.

Важливою функцією є аналіз трендів в Microsoft® Excel за допомогою вбудованих шаблонів. Датчик здатен вимірювати загальний рівень вібрації в діапазоні від 10 Гц до 1000 Гц в одиницях вимірювання прискорення, швидкості та відхилення для широкого спектра обладнання.

Технологія Crest Factor+ (пік-фактор плюс) надає надійну оцінку стану підшипників за допомогою прямих вимірів з датчика в діапазоні від 4000 до 20000 Гц.

Датчик оснащений індикаторами (зелений, червоний) та коментарями на екрані, які вказують на необхідність викладення певного зусилля для вимірювання. ІК-датчик температури розширює можливості діагностики.

Інтегрована пам'ять датчика здатна зберігати до 3500 вимірювань. Аудіовихід дозволяє безпосередньо слухати шуми підшипників. Підтримка зовнішнього акселерометра для важкодоступних місць, підсвітка для вимірювань у поганих умовах освітлення та великий екран високого розширення сприяють зручності використання та перегляду результатів.

Аналіз рівня вібрації впродовж часу є ключовим засобом моніторингу стану обладнання, і в цьому відношенні віброметр Fluke 805 виявляється високоефективним інструментом. Нижче наведено технічний опис його можливостей:

Експорт результатів в Microsoft® Excel. Fluke 805 надає можливість зручного експорту результатів в Microsoft® Excel через USB-з'єднання, що робить обробку та аналіз даних більш легким та зручним.

Аналіз тенденцій за допомогою вбудованих шаблонів та графіків. Вбудовані шаблони та графіки Excel дозволяють користувачеві здійснювати

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

0032.226325.000.04MP.ПЗ

аналіз тенденцій вимірювань вібрації, надаючи можливість зручного візуального представлення даних.

Порівняння зі стандартами ISO. Fluke 805 дозволяє порівнювати показники загального рівня вібрації зі стандартами ISO (10816-1, 10816-3, 10816-7), забезпечуючи відповідність та точність вимірювань.

Користувач може легко імпортувати вимірювання з виброметра Fluke 805 в шаблон Excel на ПК для подальшого аналізу тенденцій зміни параметрів підшипників, включаючи загальний рівень вібрації, CF+ та температуру. Це надає користувачеві чітке уявлення про зміни в стані підшипників та загальному стані обладнання, що є важливим для попередження витрат та забезпечення безперебійної роботи устаткування.

Технологія пік-фактора використовується спеціалістами по вібрації для визначення дефектів підшипників. Це відношення пікового значення до середньоквадратичного значення сигналу вібрації протягом певного часового інтервалу.

Основним обмеженням при використанні пік-фактора для визначення дефектів підшипників є те, що при зносі підшипників пік-фактор зростає нелінійно. Також може спостерігатися зменшення пік-фактора при катастрофічних станах підшипників через великі середньоквадратичні значення.

Компанія Fluke подолала це обмеження за допомогою власного пропріетарного алгоритму, відомого як пік-фактор+ (Crest Factor +, CF+). Значення CF+ розташовані в діапазоні від 1 до 16. Зі збільшенням пошкодження підшипників значення CF+ зростає. Для зручності компанія Fluke також включила чотирьохрівневу шкалу критичності, яка визначає стан підшипників як "Добре", "Задовільне", "Незадовільне" або "Критичне".

Ця шкала, додатково включена компанією Fluke, надає користувачу чітке визначення стану підшипників, що вказується як "Добре", "Задовільне", "Незадовільне" або "Критичне". Це дозволяє оперативно визначати, наскільки

					0032.226325.000.04MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

критичним є стан обладнання і дозволяє приймати необхідні заходи для попередження подальших пошкоджень та збереження ефективності устаткування.

В контрольні точки вимірювань вібрації при випробуваннях: корпус редуктора, корпус підшипників в місцях розташування підшипників.

Для вимірювання температури в місцях розташування підшипників пропонується впровадити безконтактний пірометр Fluke 62 MAX. Зовнішній вигляд пірометра приведено на рисунку 3.5.



Рисунок 3.5 – Зовнішній вигляд пірометра

Інфрачервоний пірометр використовується для визначення температури поверхонь в діапазоні від  $-30^{\circ}\text{C}$  до  $+50^{\circ}\text{C}$ . Коефіцієнт випромінювання можна

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	0032.226325.000.04MP.ПЗ				

регулювати в межах від 0,1 до 1, що дозволяє працювати з будь-яким матеріалом. Оптична роздільна здатність 10:1 дозволяє проводити вимірювання на безпечній відстані.

Компактний, точний та простий у використанні інструмент створений спеціально для експлуатації в жорстких умовах високої запиленості, вібрацій, підвищеної вологості (до 90%). Міцний корпус пірометра витримує падіння з висоти 3 метрів, і зберігає працездатності навіть при попаданні на нього води.

### **3.6 Визначення несправностей механічного обладнання на основі аналізу сигналу вібрації**

Типові несправності механічного при виконанні технічного діагностування проявляються через характерні ознаки. Ці ознаки можна використовувати для розпізнавання дефекту у випадку, якщо цей дефект одиничний, тобто, за умови відсутності тепер розвинених дефектів в інших вузлах діагностуемого об'єкта, наприклад дефектів вала, сполучної муфти, зубчастої передачі і т.д. Розглянемо більш детально основні діагностичні ознаки вузлів колісної пари.

Неоднорідний радіальний натяг підшипника є звичайно дефектом його складання, зокрема, наслідком посадки підшипника на вал, діаметр якого більше припустимого, перекоосу обертового кільця, підвищеного осьового навантаження на підшипник. Ознакою цього дефекту є ріст гармонійних складових у спектрі вібрації на парні й не парні, насамперед, на другій гармоніці частоти обертання вала (рисунок 3.6).

Проявляється цей дефект звичайно відразу після установки нового підшипника, супроводжується ростом обертового навантаження у двох протилежних точках внутрішнього кільця підшипника й приводить до прискореного зношування через перевантаження, що діють на поверхні кочення.

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

0032.226325.000.04МР.ПЗ



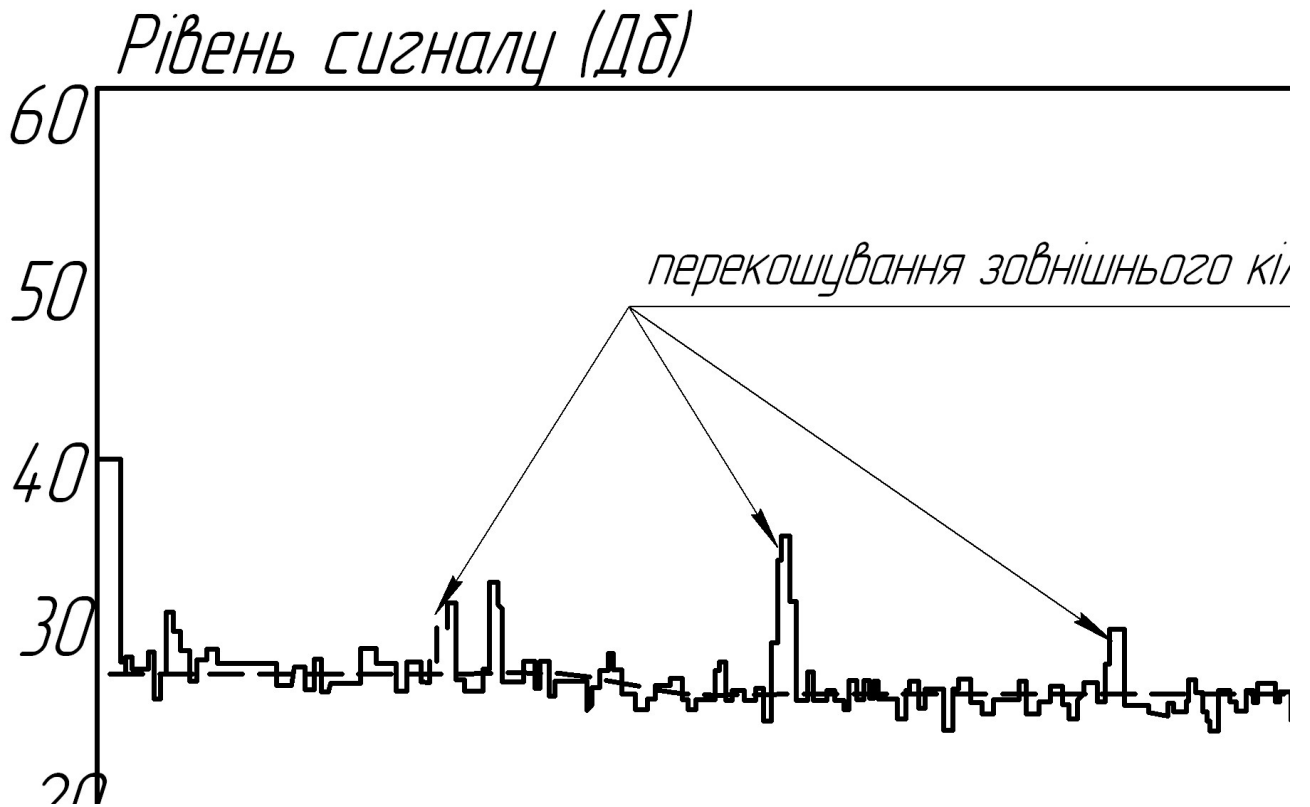


Рисунок 3.7 - Спектр огинаючої вібрації при перекошуванні зовнішнього кільця підшипника

модуляція високочастотної вібрації частотою  $f_i$  і в спектрі вібрації, що обгинає, ростуть гармонійні складові на частотах  $kf_i$ , причому найбільший ріст відбувається на першій гармоніці  $f_i$ , а амплітуда кратних гармонік у спектрі, що обгинає швидко падає.

Раковини (тріщини) на зовнішньому кільці підшипника приводять до появи коротких ударних імпульсів при контакті кожного тіла кочення з раковиною (тріщиною). У результаті з'являється ряд гармонік із частотами  $kf_{вр}$  у спектрі високочастотної вібрації, що обгинає, причому число цих гармонік досить велике, а їх амплітуда слабо знижується з ростом (рисунок 3.8).

Розділити ознаки раковини й тріщини за результатами аналізу спектра, що обгинає вдається вкрай рідко й, в основному, за рахунок більш швидкого розвитку дефекту у випадку, якщо в підшипнику є тріщина.

Ознаки раковини можуть згодом переходити в ознаки зношування

					0032.226325.000.04МР.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зовнішнього кільця, а ознаки тріщини стабільні й, більше того, ростуть при кожному наступному вимірі.

### *Рівень сигналу (Дб)*

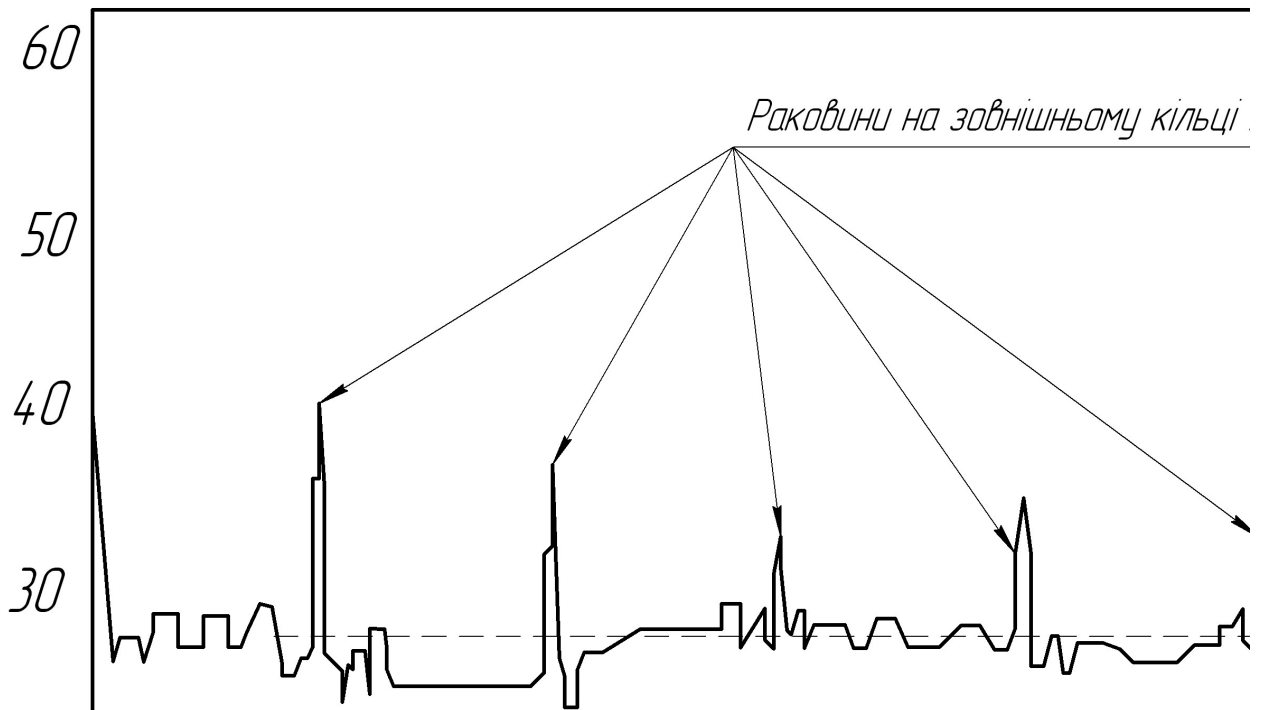


Рисунок 3.8 - Спектр огинаючої вібрації при раковинах на зовнішньому кільці підшипника

Зношування внутрішнього кільця підшипника, як правило, відбувається локально, але зона підвищеного коефіцієнта тертя захоплює область, що перевищує відстань між точками контакту найближчих двох тіл кочення, і модуляція сил тертя відбувається із частотою  $f_{вр}$  сильніше, чим із частотою  $f_{в}$ .

Тому при діагностиці внутрішнього кільця діагностичною ознакою є поява в спектрі, що обгинає ряду гармонік із частотами  $kf_{вр}$ . Ряд гармонік із частотами  $kf_{вр}$ , хоча й може виникати при зношуванні внутрішнього кільця, найкраще використовувати в якості діагностичної ознаки появи раковини (тріщини) на внутрішньому кільці. Досить часто при зношуванні внутрішнього кільця росте й високочастотна вібрація підшипника, що є додатковою ознакою дефекту.

											Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							

0032.226325.000.04МР.ПЗ

Слід зазначити, що ріст у спектрі вібрації, що обгинає, гармонік  $kf_{вр}$  є ознакою дефектів і інших вузлів машини, таких як сполучні муфти, зубчасті передачі, ротор, і інші, тому при виявленні цієї ознаки необхідно переконатися, що в машині немає дефектів інших вузлів.

Якщо це неможливо, найкраще переходити на періодичний вимір спектра вібрації, що обгинає, і контролювати розвиток дефекту доти, поки в підшипнику не з'являться або ріст високочастотної вібрації, або інші види дефекту.

Раковини (тріщини) на внутрішньому кільці підшипника приводять до появи коротких ударних імпульсів при контакті кожного тіла кочення з раковиною (тріщиною).

У результаті в спектрі вібрації, що обгинає, з'являється ряд гармонік із частотами  $f_{вр}$ , причому через те, що при слабкому радіальному натягу в підшипнику величина удару залежить від навантаження, тобто від кута повороту внутрішнього кільця, у ряду гармонік у спектрі, що обгинає з'являються бічні складові.

Розрізнити ознаки раковини й тріщини на внутрішньому кільці не завжди вдається.

Непрямою ознакою тріщини можна вважати одночасна поява великої кількості гармонік  $f_b$  з більшим числом гармонік  $kf_{вр}$ , що виникають при збільшенні радіуса внутрішнього кільця в зоні його розриву (рисунок 3.9).

Однак, поява ряду гармонік із частотами  $kf_b$  може бути й ознакою підвищеного зношування в зоні раковини при відсутності тріщини. Найчастіше тріщину виділяють по швидкості розвитку дефекту, тому що раковина може мати стабільну величину кілька днів, а при тріщині ознаки дефекту монотонно збільшуються в кільці.

Зношування тіл кочення й сепаратора в підшипнику відноситься до найнебезпечніших дефектів, тому що розвивається досить швидко.

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

0032.226325.000.04МР.ПЗ





## Рівень сигналу (Дб)

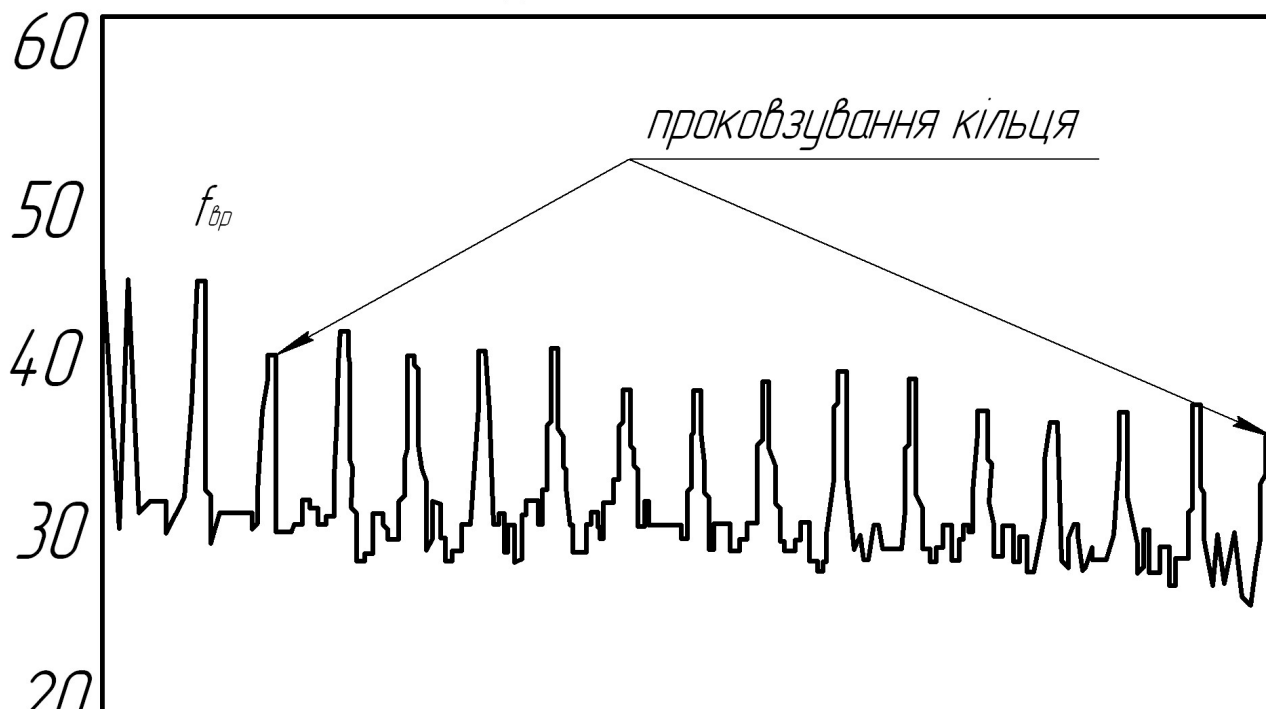


Рисунок 3.10 – Спектр огинаючої вібрації при проковзуванні кільця

підшипника. На жаль, цей вид дефекту вкрай важко відокремити від дефектів інших вузлів машини, таких як муфти, зубчасті й інші передачі, тому необхідно перед прийняттям рішення, переконатися в тому, що вібрація або температура підшипникового вузла різко зросла, що додатково свідчить про дефекти саме в підшипниковому вузлі машини

Дефекти змащення підшипника приводять до росту високочастотної вібрації підшипника, що і є основною діагностичною ознакою цього дефекту. Як правило, якщо цей дефект виявляється єдиним, у спектрі вібрації, що обгинає, відсутні середні й сильні дефекти інших типів. Але частіше відбувається навпаки, і дефекти змащення є наслідком дефектів поверхонь тертя й пов'язані із влученням у змащення продуктів зношування, що є додатковою ознакою необхідності зупинки машини й перевірки стану підшипника. Є ще одна ситуація, при якій однозначно ухвалюється рішення про дефект змащення. Це - виявлення предаварійної ситуації в підшипнику, коли поверхні кочення й

					0032.226325.04MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

сепаратора настільки зношені, що число ударних імпульсів дуже велике, і вони накладаються один на одного, порушується періодичність їх проходження й губиться можливість їх виявлення спектральними методами аналізу вібрації. І в цьому випадку необхідно терміново замінити підшипник. Частоти складових спектра вібрації використовувані для виявлення й ідентифікації дефектів лінії вала в підшипниках кочення по періодичних вимірах вібрації.

Бій вала зустрічається досить часто й не тільки має свої характерні ознаки, але й змінює діагностичні ознаки багатьох видів дефектів. Саме тому він виявляється по різноманітних діагностичних ознаках, але основними з них є:

- ріст низькочастотної вібрації машини на гармоніках частоти обертання ротора при досить великому (більш 3-5) числі гармонік;
- поява модуляції високочастотної вібрації підшипника частотою обертання вала, але без ознак дії ударних імпульсів у підшипниках або значного росту рівня високочастотної вібрації;
- поява модуляції навантажень на дефектні елементи тертя, а, отже, модуляції багатьох гармонійних складових спектра, що обгинає вібрації частотою обертання вала.

					0032.226325.04MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВИСНОВОК

У ході виконання даної магістерської роботи були розглянуті та досліджені ключові аспекти експлуатації електропоїздів метрополітену з метою підвищення їх надійності та продуктивності. Аналізуючи характеристики електродепо та рухомого складу, виявлено важливі параметри, які впливають на ефективність та тривалість служби обладнання.

У першому розділі детально розглянуто питання експлуатації електродепо метрополітену, включаючи розрахунок ремонтних програм та фронту ремонту електровагонів. Другий розділ надає технічну характеристику вагону та його екіпажної частини, звертаючи увагу на конструкцію колісних пар та технологію формування колісної пари.

Основний акцент у третьому розділі роботи приділений вдосконаленню випробувань механічного обладнання електропоїзда. Аналіз пошкоджень, методи неруйнівного контролю та вібраційного діагностування стали важливими компонентами стратегії технічного обслуговування. Впровадження пропонованих покращень сприятиме збільшенню надійності обладнання та підвищенню ефективності його експлуатації в умовах міського транспорту.

Отже, результати дослідження свідчать про можливість вдосконалення системи випробувань механічного обладнання електропоїзда, що відкриває перспективи підвищення ефективності та забезпечення безперебійної роботи метрополітенового транспорту.

					0032.226325.04MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Локомотивное хозяйство: Учебник для вузов ж.-д. транспорта // Под ред. С.Я. Айзинбуда – М.: Транспорт, 1986. – 263 с.
2. Про планово-попереджувальну систему ремонту і технічного обслуговування тягового рухомого складу (електровозів, тепловозів, електро та дизель-поїздів): Положення №93-ЦЗ від 30.06.10 К:– Укрзалізниця.: 2010. – 27 с.
3. Нормы технологического проектирования электровозных, тепловозных депо и депо для электропоездов, экипировочных устройств и пунктов технического осмотра – М.: Транспорт, 1967. – 58 с.
4. Організація та планування виробництва [Електронний ресурс]: методичні рекомендації для виконання розрахунково-графічної роботи / уклад. Б. Є. Боднар, О.Б. Очкасов; Укр. держ. ун-т науки і технологій. – Дніпро : УДУНТ, 2022. – 0,99 МБ. – (ДПТ. Каф. Локомотиви). – Назва з титул. екрана.
5. Папченков С. И. Локомотивное хозяйство: Пособие по дипломному проектированию: Учеб. пособие для техникумов ж.-д. трансп. – М.: Транспорт, 1988. – 192 с.
6. Експлуатація локомотивів та локомотивне господарство. Організація ремонтного та екіпірувального господарства: підручник / Б.Є. Боднар, М.І. Капіца, Є.Б. Боднар, О.Б. Очкасов; за ред. д-ра техн. наук, проф. Б.Є. Боднара. – Електрон. вид. – Дніпро : Укр. держ. ун-т науки і технологій, 2022. – 220 с. – DOI: 10.15802/978-966-2596-24-3.
7. ДСТУ 2860-94. Тяговий рухомий склад залізничного транспорту. Надійність. Терміни і визначення. 1994.-23 с.
8. Боднар Б.Е. , Очкасов А.Б. , Повышение эксплуатационной надежности подвижного состава: развитие систем диагностирования

					0032.226325.04MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

//Локомотив- информ.- №1-2. С.56-58, Харьков, 2011

9. Боднар Б.Е., Очкасов А.Б., Боднар Е.Б. Использование диагностической информации при разработке системы управления техническим состоянием локомотивов //Локомотив-информ №3-4, С.10-13, Харьков, 2011
10. Горский А. В., Воробьев А. А., Куанышев Б. М. Ремонт только по результатам диагностики // Локомотив. - 1998. - № 12. - С. 37–39.
11. Диагностика и мониторинг технического состояния подвижного состава // Железные дороги мира. - 1997. - № 11. - С. 13-16.
12. Каталог нестандартизированного технологического оборудования/ Проектно-конструкторское бюро локомотивного хозяйства, – М.:Транспорт, 1989. – 229 с.
13. Шамагін В.О., Ареф'єв М.Ф., Пасько В.Н. та ін. Технологія ремонту рухомого складу: Навч. посіб. - Ч.ІІ. – К.: Дельта, 2008. – 396 с.
14. Боднар, Б. Є. Теорія та конструкція локомотивів. Екіпажна частина: Підручник для ВНЗ залізнич. трансп. [Текст] / Б. Є. Боднар, Є. Г. Нечаєв, Д. В. Бобир. – Д.: ПП «Ліра ЛТД», 2009. – 284 с

					0032.226325.04MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		