

Міністерство освіти і науки України  
Український державний університет науки і технологій

Львівський інститут  
(назва факультету)

Рухомий склад залізниць і колія  
(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка  
до кваліфікаційної роботи  
бакалавр  
(ступінь вищої освіти)

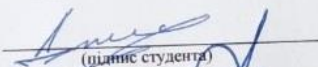
на тему: «Удосконалення технологічного процесу технічного діагностування колісних пар»

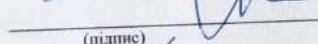
за освітньою програмою Локомотиви та локомотивне господарство  
зі спеціальності: 273 "Залізничний транспорт"  
(шифр і назва спеціальності)

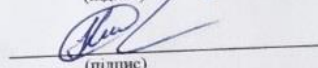
Виконав: студент групи: ЛГ 19117

Керівник:

Нормоконтролер:

  
(підпис студента)

  
(підпис)

  
(підпис)

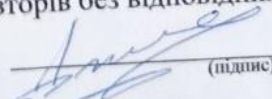
/ Михайло ДЖЕГУР /  
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

/ викладач Владислав БОЯРКО /  
(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

/ викладач Іван КРАВЕЦЬ /  
(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

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

Студент

  
(підпис)

Львів – 2022 рік

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

Lviv Institute

(faculty)

Railway Rolling Stock and Tracks

(department)

Explanatory Note

to Master's Thesis

Bachelor

(higher education degree)

on the topic: Improving the technological process of technical diagnostics of  
wheelsets

according to educational curriculum Locomotives and locomotive economy

in the Speciality: 273 "Railway transport"

(speciality and its code)

Done by the student of the group: ЛГ 19117

/ Mykhailo DZHEHUR /

(name, surname)

Scientific Supervisor:

/ lecturer Vladyslav BOIARKO /

(position, name, surname)

Normative controller :

/ lecturer Ivan KRAVETS /

(position, name, surname)

## ЗМІСТ

ПЕРЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ .....	6
ВСТУП .....	7
1 ОЦІНКА ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ТЯГОВОГО РУХОМОГО СКЛАДУ.	
ВИДИ І МЕТОДИ ОЦІНКИ ЇХ КЛАСИФІКАЦІЯ .....	9
1.1 Аналіз наукових робіт, присвячених питанням удосконалення технологічного процесу технічного діагностування колісних пар .....	9
1.2. Роль діагностування та неруйнівного контролю в оцінці та прогнозування технічного стану тягового рухомого складу .....	12
1.3 Системи неруйнівного контролю, їх характеристики .....	17
2 ДОСЛІДЖЕННЯ ПОКАЗНИКІВ БЕЗВІДМОВНОСТІ І ДОВГОВІЧНОСТІ ЕЛЕМЕНТІВ КОЛІСНОЇ ПАРИ ТЯГОВОГО РУХОМОГО СКЛАДУ .....	27
2.1 Методика оцінки показників надійності елементів тягового рухомого складу .....	27
2.2 Оцінка показників надійності елементів тягового рухомого складу за результатами діагностування .....	29
2.3 Розрахунок показників довговічності елементів колісної пари локомотива .....	33
3. ЗАПРОВАДЖЕННЯ ПЕРСПЕКТИВНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ ДІАГНОСТУВАННЯ ТА НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ ДЕТАЛЕЙ ТЯГОВОГО РУХОМОГО СКЛАДУ .....	36
3.1 Використання лазерного діагностичного контролю колісних пар .....	36
ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ .....	41
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ .....	42

0041.190539.01.ВКР.ПЗ								
Зм	Арк	№ документа	Підпис	Дата	Удосконалення технологічного процесу технічного діагностування колісних пар	Літера	Аркуш	Аркушів
Розробив		М. ДЖЕГУР		05.06.12			5	42
Консульт						ЛІ УДУНТ		
Керівник		В. БОЯРКО		09.06.12				
Н. контр.		Іван КРАВЕЦЬ		09.06.12				
Зав. каф.		Олена БАЛЬ		11.06.12				

**(ЗАВДАННЯ НА РОБОТУ (ОКРЕМИЙ ДОКУМЕНТ, ОДИН ЛИСТ З  
ДВОХ СТОРІН ЗГІДНО ШАБЛОНУ))**

**ВІДОМІСТЬ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ**  
***(БУДЕ РОЗРОБЛЕНО ГЗЯОП)***

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи бакалавра: 43 с., 20 рис., 2 табл., 9 літературних джерел.

*Метою даної роботи є розробка заходів по удосконаленню технологічного процесу технічного діагностування колісних пар.*

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

*Предметом дослідження є методи технологічного діагностування та неруйнівного контролю конструктивних складових тягового рухомого складу, а саме колісних пар.*

Для досягнення зазначеної вище мети у бакалаврській роботі проведено аналіз наукових робіт та проаналізовано існуючі технології удосконалення технологічного процесу технічного діагностування колісних пар, запропановано використання методу лазерного діагностичного контролю колісних пар як перспективного засобу для діагностування та неруйнівного контролю деталей тягового рухомого складу.

Ключові слова: КОЛІСНА ПАРА, НЕРУЙНІВНИЙ КОНТРОЛЬ, ТЯГОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД, ВЕЛИКЕ ЗУБЧАСТЕ КОЛЕСО, АВТОМАТИЗОВАНЕ РОБОЧЕ МІСЦЕ, ПОТОЧНИЙ РЕМОНТ, ТЕХНІЧНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ.

**ПЕРЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ,  
СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ**

УЗ	АТ «Укрзалізниця»
УДУНТ	Український держаний університет науки і технологій
АРМ	Автоматизоване робоче місце
ППР	Планово-попереджувальний ремонт
НК	Неруйнівний контроль
ТО	Технічний огляд
ПР	Поточний ремонт
ТРС	Тяговий рухомий склад
НК	Неруйнівний контроль
МПК	Магнітопорошковий контроль
ВСП	Вихрострумний перетворювач
УЗК	Ультразвуковий контроль
ПЄП	П'єзоелектричний перетворювач
ВЗК	Велике зубчасте колесо

					6.273.190539.ПЗ	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		7

## ВСТУП

На сучасному етапі розвитку залізничного транспорту, у зв'язку з збільшенням швидкостей руху, зростанням інтенсивності перевезень та ваги поїздів, виконання найважливішого завдання забезпечення безпеки руху відбувається за допомогою введення в експлуатацію нового типу тягового рухомого складу (ТРС). Збільшена експлуатаційна надійність, яка досягається за рахунок необхідного запасу міцності, закладеної при проектуванні, що передбачає застосування у технологічних процесах методи діагностування та засобів неруйнівного контролю (НК) відповідальних вузлів та деталей.

Процеси утворення та зростання дефектів у період експлуатації ставлять під загрозу безаварійну експлуатацію рухомого складу. Забезпечення безпеки руху за рахунок своєчасного виявлення заводських та втомних дефектів у відповідальних елементах рухомого складу приносить великий економічний ефект та служить збереженню людських життів.

Вирішення цієї проблеми досягається сучасними фізичними методами НК та діагностування.

Використання різноманітних методів НК та систем діагностики, у тому числі стаціонарної, переносної та бортової мікропроцесорної апаратури, дозволяють по-новому управляти поточним станом локомотива та розставляти пріоритети у створенні планово-попереджувального ремонту (ППР).

Аналіз даних про технічний стан вузлів і деталей, після проведення неруйнівного контролю та діагностування дозволяє проводити подальше прогнозування надійної роботи ТРС, а також дає можливість оптимізувати ППР з урахуванням індивідуальних параметрів локомотиву.

Під час проведення планового технічного огляду (ТО) або поточного ремонту (ПР), на підставі отриманих від спеціалізованих електронних прилададів даних, є можливість прийняти рішення про заміну вузла або деталі з критичними рівнями контрольованих параметрів і тим самим запобігти відмові локомотива в процесі руху поїзда.

					6.273.190539.ПЗ	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		8

Таким чином, збільшується час корисної експлуатаційної роботи вузла, деталі та локомотива в цілому, отже, збільшується міжремонтний пробіг, а також мінімізуються обсяги та терміни ремонту.

Сучасні технологічні процеси виготовлення та ремонту продукції залізничного транспорту рухомого складу у багатьох випадках супроводжуються проміжним контролем якості виробів. У зв'язку з цим важливого значення набувають неруйнівні методи контролю якості, які дозволяють не тільки виявляти дефекти на поверхні або в товщі виробу, а й визначати їх форму та розміри, а також просторове положення в деталі.

					6.273.190539.ПЗ	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		9

# 1 ОЦІНКА ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ТЯГОВОГО РУХОМОГО СКЛАДУ. ВИДИ І МЕТОДИ ОЦІНКИ ЇХ КЛАСИФІКАЦІЯ

## 1.1 Аналіз наукових робіт, присвячених питанням удосконалення технологічного процесу технічного діагностування колісних пар

Питання удосконалення технологічного процесу технічного діагностування колісних пар знайшло своє відображення в значній кількості наукових праць вітчизняних і зарубіжних авторів.

Вагомий внесок у вирішення проблеми удосконалення технологічного процесу технічного діагностування колісних пар зробили відомі вчені: Басов Г.Г, Босов А.А., Блохін Є.П., Голубенко О.Л., Головка В.Ф., Дьомін Ю.В., Кельріх М.Б., Іванов І.І, Коротенко М.Л., Маслієв В.Г., Осенін Ю.І., Савоськін І.М., Смушков П.І., Тартаковський Е.Д., Ткаченко В.П. та ін.

У Дніпровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна (нині – УДУНТ) зазначеними питаннями також займалися такі вчені та інженери: Боднар Б.Є., Болжеларський Я.В., та ін.

У роботі [1] наведено методи виявлення дефектів та відхилень від норми поверхні кочення колеса, які застосовуються в теперішній час, також їх переваги та недоліки. Запропоновано власний метод виявлення пошкоджень поверхні кочення колеса на основі діагностування за звуком.

Дисертаційну роботу [2] присвячено проблемі вдосконалення організаційної форми технологічних процесів ремонту деталей і конструкцій вантажних засобів залізничного транспорту та розвитку теорії технології підвищення якісних характеристик виробів з метою їх тривалого ресурсозбереження шляхом пояснення механізму формування поверхні розробленим багатофункціональним методом обробки комбінованими інструментами та пристроями блочно-модульної структури. Обґрунтовано формалізовані критерії вибору функціональної загальності та структурної збіжності деталей вантажних вагонів та сформована їх комплексна класифікація

					6.273.190539.ПЗ	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		10

із врахуванням степені пошкодження. Розроблені напівемпіричні моделі встановлення діапазонів формування поверхні виробів робочими органами і запропоновано комплексні розрахункові схеми руйнування та деформування ними поверхневих шарів узагальнених структур. Розроблено методи синтезу структур поверхневих відкладень та визначення раціональних технологічних режимів обробки і параметрів переналагоджування модулів комбінованих інструментів. Запропоновано принципово нові конструкції інструментів та пристроїв формування поверхні деталей вантажних засобів транспорту.

Дисертація [3] присвячена підвищенню надійності роботи та здешевленню ремонту буксових вузлів колісних пар електровозів шляхом відновлення їх корпусів позававшим проточним електролітичним залізненням. Розроблено математичну імовірнісну модель і методику оцінки більш високих показників надійності технологічного процесу відновлення, які дозволяють більш точно враховувати зміни параметрів якості процесу. Розраховано показники надійності технології відновлення електролітичним залізненням за трьома параметрами якості нанесених відновлювальних шарів: міцністю зчеплення, мікротвердістю і товщиною відновлювального шару. Розроблено модель формування поступових відмов за критерієм зносу, що враховує фізику явищ зношення. На основі результатів виконаних прискорених і експлуатаційних випробувань розраховано ресурс корпусів букс, відновлених різними методами. Методом імовірнісного прогнозування визначено імовірності відмов за критерієм зносу корпусів букс усіх типів досліджених електровозів за пробіг до ПР 3. Розглянуто механізм зносостійкості відновлювальних шарів заліза і її залежність від ряду факторів. Встановлено працездатність відновлених корпусів букс за критерієм витривалості. Розроблено і впроваджено технологію та установку відновлення; розраховано річний економічний ефект.

У статті [4] розглянутий руйнуючий вплив коліс з дефектами на рейки під час руху. Цей фактор є одним з вирішальних, які обумовлюють необхідність переходу від традиційних ручних методів перевірки і зовнішнього огляду до автоматизованої системи діагностики рухомого складу під час експлуатації.

					6.273.190539.ПЗ	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		11

Методика. Для досягнення цієї цілі розглянуті основні види пошкоджень колісних пар та шляхи їх появи. Наведено методи виявлення дефектів та відхилень від норми поверхні кочення колеса, які застосовуються в теперішній час в закордонній практиці та практиці країн СНД, також їх переваги та недоліки. Результати. Досліджений та проаналізований звуковий сигнал колеса з дефектом в русі. Обґрунтована необхідність використання автоматизованої системи, яка дозволяє значно зменшити вплив людського фактору. Наукова новизна. Запропоновано власний метод виявлення пошкоджень поверхні кочення колеса на основі діагностування за звуком. Практична значимість. Автоматизація системи стеження за станом коліс рухомого складу дозволяє більш якісно проводити діагностику їх пошкоджень, виявляти пошкодження на початкових стадіях і давати прогноз швидкості їх розвитку. При цьому, крім вказування місця знаходження пошкоджень у складі коліс, які мають дефекти, також є можливість прослідкувати динаміку їх розвитку та видавати рекомендації щодо їх усунення.

Об'єктом дослідження у роботі [5] виступає колісна пара локомотива, а метою – розробка заходів зменшення зношування поверхні колісних пар. В першому розділі виконано огляд та аналіз існуючих заходів підвищення ресурсу колісних пар локомотивів. Розглянуто теоретичні основи природи зчеплення коліс із рейками. Вказано фактори що впливають на зношування колісних пар локомотива й надано аналіз видів та причини пошкодження колісних пар. На підставі аналізу існуючих заходів підвищення ресурсу колісних пар спроектована уніфікована для різних серій тепловозів система гребнезмашування. Надано рекомендації впровадження заходів з відновлення геометричних розмірів бандажів колісних пар локомотивів і можливість загартування поверхні бандажів колісних пар, що також суттєво вплине на підвищення їх ресурсу. В економічному розділі проведено розрахунок строку окупності та ефективності впровадження вищевказаної системи. Згідно розрахункам, строк окупності системи складає близько 4 місяців. Для поліпшення стану охорони праці при впровадженні заходів зі зменшення

					6.273.190539.ПЗ	Арк.
						12
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

зношування поверхні колісних пар локомотивів запропоновано встановлення системи вентиляції на робочому місці наплавлення бандажів.

Робота [6] присвячена встановленню закономірностей зміни структурного стану, механічних властивостей сталей залізничних коліс, локомотивних бандажів та вісей колісних пар залежно від умов експлуатації та технології виготовлення. Досліджено хімічні, механічні властивості вуглецевих сталей для виготовлення коліс, бандажів та вісей. Базуючись на методи й методики, стало можливим оцінити зміну внутрішньої будови сталей залізничних коліс, бандажів та вісей в залежності від ступеня зовнішніх впливань, які можуть сприяти зародженню ушкоджень. Визначено, що мікротріщина, яка зароджена на міжфазній межі неметалевого включення-феритна складова структури вуглецевої сталі, розповсюджується у напрямку локально зниженого опору металу. Підвищення локалізації пластичної течії вуглецевої сталі при збільшенні розміру зерна фериту являє собою один із чинників, який знижує межу міцності при втомі. Проведений аналіз зміни внутрішньої будови вуглецевих сталей з урахуванням ступеня розігріву від поверхні кочення показав, що пропорційно градієнту температур виникають внутрішні напруження, які в місцях з низьким опором металу приводять до формування зародків руйнування. Враховуючи, що протікання втомних явищ в металі обумовлене незворотними структурними змінами, такими як поступове накопичення дефектів кристалічної будови, можливість зниження їх приросту дозволить підвищити ресурс роботи елементів рухомого складу.

## **1.2. Роль діагностування та неруйнівного контролю в оцінці та прогнозування технічного стану тягового рухомого складу**

Технічна діагностика виникла у зв'язку із прискореним розвитком сучасного машинобудування та зокрема рухомого складу залізниць, яка зумовила необхідність більш глибокої технічної оцінки стану ТРС та їх комплектуючих виробів, як основи прогресивних методів технічного огляду та ремонту. Термін

					6.273.190539.ПЗ	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		13

"діагностика" походить від грецького «diagnostikos», що означає розпізнавання, визначення. В процесі діагностики встановлюється діагноз, тобто. визначається технічний стан системи, вузла, деталі чи ТРС загалом.

Технічна діагностика – галузь знань, що охоплює теорію, методи та засоби визначення технічного стану об'єктів.

Діагностика - це один із способів перевірки стану та працездатності технічного виробу з метою виявлення в ньому прихованих чи явних дефектів, несправних вузлів та елементів, відхилень від заданих умов та режиму роботи, представляючи одним із ефективних засобів забезпечення надійності об'єкту.

Технічна діагностика є складовою частиною виготовлення, технічного обслуговування та ремонту ТРС. Основне завдання технічного діагностування – це забезпечення безпеки, безвідмовності, довговічності та ефективності роботи вузлів та деталей ТРС, а також скорочення витрат на його технічне обслуговування та зменшення втрат від простоїв внаслідок відмов та непланових ремонтів.

За результатами діагностичних досліджень визначають показники надійності конкретного виробу, його стан протягом певного проміжку часу (напрацювання).

Діагностування включає наступні функції:

- ✓ оцінка технічного стану виробу;
- ✓ виявлення та визначення місця знаходження несправностей;
- ✓ прогнозування залишкового ресурсу об'єкта.

Залежно від застосовуваних діагностичних пристроїв та діагностичних параметрів, які необхідні під час проведення контролю, можна скласти наступний неповний список методів діагностування:

- ✓ органолептичні методи діагностування, що засновані на використанні органів чуття людини (зір, слух);
- ✓ інструментальні методи;
- ✓ вібраційні методи діагностування, що ґрунтуються на аналізі параметрів вібрацій технічних об'єктів;

					6.273.190539.ПЗ	Арк.
						14
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

- ✓ акустичні методи діагностування, що ґрунтуються на аналізі параметрів звукових хвиль, що утворюються технічними пристроями;
- ✓ теплові методи, що ґрунтуються на використанні тепловізорів;
- ✓ магнітопорошковий метод;
- ✓ вихорострумний метод;
- ✓ ультразвуковий метод;
- ✓ капілярний метод.

Проблемою технічної діагностики є забезпечення отримання достовірної інформації з прийнятною оперативністю розпізнавання істинного стану виробу та класифікації цього стану.

Від обумовленості подальшого застосування проконтрольованої продукції методи контролю поділяються на руйнівні та неруйнівні.

Руйнівний контроль використовується для оцінки показників якості матеріалів, деталей та вузлів рухомого складу в цілому. Дані методи застосовують під час випробувань продукції на надійність (перевірка причин відмов).

Після проведення руйнівного контролю виріб або вузол вважається непридатним для подальшого застосування за призначенням. Неруйнівний контроль (НК) виконується такими методами, які не дозволяють впливати на працездатність виробу. Внаслідок проведення НК деталь вважається працездатною та придатною для подальшого використання (див.рис.1.1).

У сучасному періоді розвитку ремонтного виробництва тягового рухомого складу методи НК знайшли найбільш широке застосування, оскільки вони високотехнологічні, точні у визначенні несплошності у матеріалі.

Методи неруйнівного контролю, не спотворюючи параметрів та структуру деталі, дозволяють виявляти поверхневі та внутрішні приховані дефекти, або розкрити такі особливості, які тягнуть у себе певну ненадійність виробів. Вони дозволяють досліджувати вироби в процесі розробки, виробництва, випробувань та експлуатації, а також можуть застосовуватися для оцінки якості технологічних процесів та відпрацювання виробів, що не задовольняють вимогам технічного завдання. Методи НК мають відповідати наступним

					6.273.190539.ПЗ	Арк.
						15
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

основним вимогам: носити дійсно неруйнівний характер, мати достатню чутливість і роздільну здатність. Під чутливістю методів НК розуміється здатність надійно, із заданою ймовірністю виявити візуально або із застосуванням спеціальних пристроїв, певних умов, мінімальний за розмірами (шириною, глибиною, довжиною) дефект.



Рисунок 1.1 – Основні види та методи неруйнівного контролю

Результативність використання ПК визначається його важливими перевагами порівняно з візуальним оглядом та руйнівними випробуваннями деталей. Методи контролю, що ґрунтуються на візуальному огляді поверхні деталі, прості, не вимагають високої кваліфікації працівника та застосування певних дорогих приладів. У той же час вони малопродуктивні, не можуть бути повністю автоматизовані і є суб'єктивними, оскільки достовірність результатів залежить від стану здоров'я, досвіду та сумлінності працівника, який проводить контроль. Багато дефектів не мають виходу на поверхню деталі або не видно навіть при застосування збільшувальних пристроїв.

Перевагою руйнівних методів випробувань є те, що в процесі випробувань, можливо виміряти руйнівні навантаження чи інші показники, що зумовлюють

надійність деталі. Певним недоліком руйнівних випробувань і те, що вони проводяться вибірково, тобто. Тільки на деякій партії однакових виробів. Через те, що випробовуються матеріали та вироби руйнуються в процесі контролю, достовірність руйнівних методів залежить від однотипності властивостей, що перевіряються в матеріалах та виробках, а також від відповідності умов випробувань з умовами роботи деталі. При порівнянні з НК руйнівні випробування більш трудомісткі, менш продуктивні та складніше піддаються автоматизації.

При проектуванні та дослідно-конструкторських робіт зі створення виробів, системи неруйнівного контролю застосовують: для отримання необхідних даних, що підтверджують правильність обраних рішень; для скорочення часу та обсягів необхідних досліджень; для відбору матеріалів, компонентів та обладнання, що забезпечують отримання продукції необхідної якості з мінімальними матеріальними та трудовими витратами. На цьому етапі вибирають оптимальні методи та засоби контролю, розробляють основні технічні вимоги до еталонів та критерії приймання деталей. На етапі виробництва та випробувань дослідної партії деталей неруйнівний контроль використовують для відпрацювання технологічних процесів та конструкцій. За результатами контролю вносять зміни в конструкцію з метою зниження матеріаломісткості та трудомісткості виробництва, підвищення надійності та довговічності продукції. На цьому етапі встановлюють необхідні технічні вимоги щодо якості виробу. При експлуатації та ремонті виробів та обладнання за допомогою систем ПК запобігають відмовим, скорочуються простой та експлуатаційні витрати, збільшуються терміни експлуатації та міжремонтні пробіги. На підставі результатів неруйнівного контролю, бракування, виріб вилучається з експлуатації.

Серед різних методів неруйнівного контролю на залізничному транспорті, найбільш широкого поширення набули: візуально-оптичний, магнітопорошковий, вихрострумний та акустичний методи контролю деталей.

					6.273.190539.ПЗ	Арк.
						17
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

### 1.3 Системи неруйнівного контролю, їх характеристики

Неруйнівний контроль залежно від фізичних явищ, покладених у його основу, поділяють на наступні види:

- ✓ акустичний;
- ✓ вихрострумний;
- ✓ магнітний;
- ✓ оптичний;
- ✓ проникаючими речовинами;
- ✓ радіаційний;
- ✓ радіохвильовий;
- ✓ тепловий;
- ✓ електричний.

**Візуально-оптичний метод** – це один із методів неруйнівного контролю оптичного виду. Він заснований на отриманні первинної інформації про контрольований об'єкт при візуальному спостереженні або за допомогою оптичних приладів та засобів вимірювань. Це органолептичний контроль, тобто сприймається органами зору, вважається ефективним і зручним способом виявлення найрізноманітніших дефектів. Саме з візуального огляду починається проведення неруйнівного контролю деталей. Цей вид контролю проводиться як з використанням спеціальних засобів, так і без них. Візуальний метод контролю зокрема довів свою найвищу ефективність при контролі якості основного металу, зварних швів, з'єднань та наплавки – як у процесі підготовки та проведення зварювання, так і при виправленні виявлених дефектів.

Приклад зовнішнього дефекту деталі, виявленого в ході візуального контролю наведено на рис. 1.2.

**Магнітопорошковий метод** – один із найпоширеніших методів неруйнівного контролю для деталей рухомого складу. Застосування магнітопорошкового методу пояснюється його високою продуктивністю, наочністю результату контролю та високою чутливістю для контролю найбільш

					6.273.190539.ПЗ	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		18

відповідальних деталей рухомого складу - осей колісних пар, кілець підшипників буксового вузла та шестерень зубчастої передачі і т.д.



Рисунок 1.2 – Зовнішній дефект внутрішнього кільця буксового підшипника вузла, виявлений за допомогою візуального контролю

Слід також зазначити, що магнітопорошковий метод використовується для підтвердження результатів контролю деталей, проведених іншими методами: вихрострумовим, феррозондовим або ультразвуковим.

Принципова можливість виявлення дефектів магнітними методами пояснюється тим, що при намагнічуванні деталі з ферромагнітних матеріалів на поверхні в області дефекту виникає неоднорідне магнітне поле розсіювання дефекту. Далі це поле виявляють за допомогою магнітного індикатора – порошку чи суспензії, частинки яких притягуються полем розсіювання (рис. 1.3).

Метод дозволяє контролювати деталі практично будь-яких форм та розмірів і виявляє поверхневі та підповерхневі дефекти типу несплошності металу (раковини), тріщини різного походження (поперечні, поздовжні), волосовини, розшарування, закати з шириною розкриття порядку 0,001мм та глибиною 0,01мм.

Деталі, що підлягають контролю, мають різні хімічні склади та піддаються певній термічній обробці, внаслідок чого мають різні магнітні властивості.

					6.273.190539.ПЗ	Арк.
						19
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

Тому для кожної деталі має бути встановлено технологію контролю, що забезпечує достатню для виявлення дефектів намагніченості цієї деталі. Спосіб та режим намагнічування вибирають з урахуванням геометричної форми деталі та розташування дефектів, що підлягають виявленню.

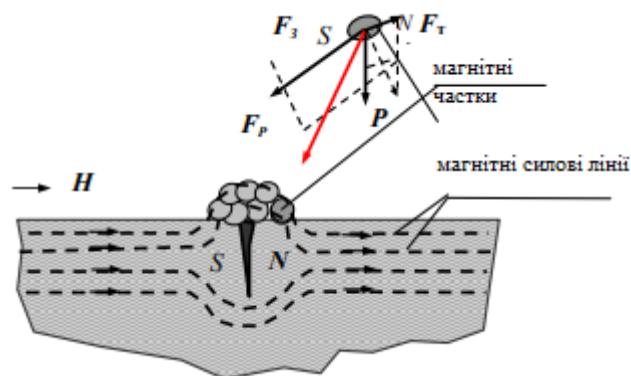


Рисунок 1.3 – Сили, що діють на магнітну частинку у полі розсіювання дефекту та скупчення магнітних частинок на поверхні деталі в області дефекту ( $S$  – магнітна частка;  $P$  – сила тяжкості;  $F_T$  – сила тертя;  $F_3$  – зтягуюча сила;  $F_p$  – результуюча сила)

При магнітопорошковому контролі деталей застосовують такі види намагнічування: циркулярне, полюсне та комбіноване.

Циркулярне намагнічування здійснюють одним із наступних способів: пропускання струму по всій деталі або її частині; пропусканням струму по центральному провіднику, пропущеному в наскрізний отвір або порожнину деталі, а також пропусканням струму по провіднику, намотаному на деталь тороїдальної форми.

Циркулярне намагнічування при пропусканні струму по деталі або її частини представлено на рис. 1.4.

Наприклад, намагнічування вінців зубчастих коліс та шестерень здійснюють пропусканням імпульсного струму по гнучкому кабелю, прокладеному в міжзубних западинах (рис. 1.5).

									Арк.
									20
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата	6.273.190539.ПЗ				

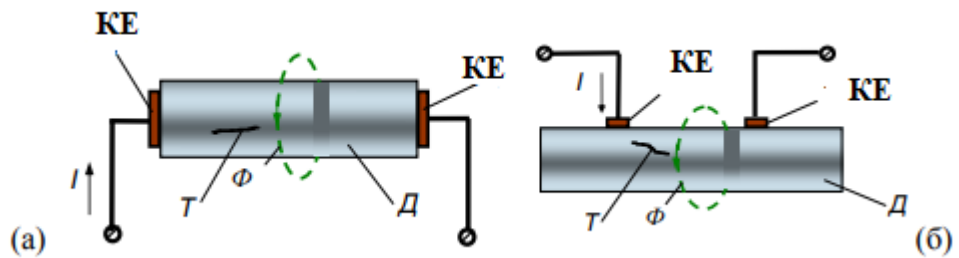


Рисунок 1.4 – Намагнічування пропусканням електричного струму по контрольованій деталі (а) або її частини (б): Д – деталь; Т – тріщина (дефект);  
 КЕ – контактні електроди

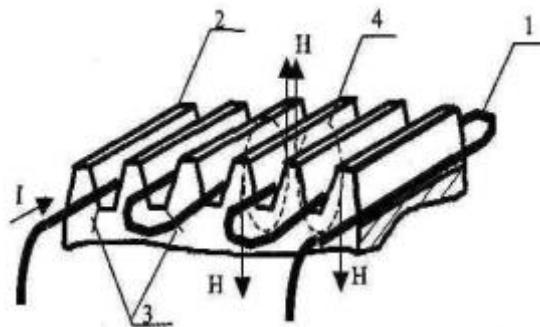


Рисунок 2.5 – Намагнічування вінців зубчастих коліс та шестерень за допомогою гнучкого кабелю: 1 – кабель; 2 – деталь; 3 – тріщини; 4 – силові лінії магнітного поля; Н – вектор напруженості магнітного поля; І – струм, що намагнічує

Над поверхневими втомними тріщинами утворюється індикаторний рисунок у вигляді чіткого тонкого щільного валика магнітного порошку по всій їх довжині. Над загартованими тріщинами утворюється чіткий розгалужений переривчастий індикаторний рисунок, над шліфувальними тріщинами утворюється чіткий індикаторний рисунок вигляді сітки. Приклад дефекту, виявленого у ході проведеного МПК представлені на рис. 1.6.

**Вихрострумний метод** заснований на аналізі взаємодії зовнішнього електромагнітного поля з електромагнітним полем вихрових струмів, що наводяться котушкою збудження в електропровідному об'єкті контролю.

Як джерело електромагнітного поля найчастіше використовується індуктивна котушка з синусоїдальним струмом, яка має назву вихрострумний перетворювач (ВСП).

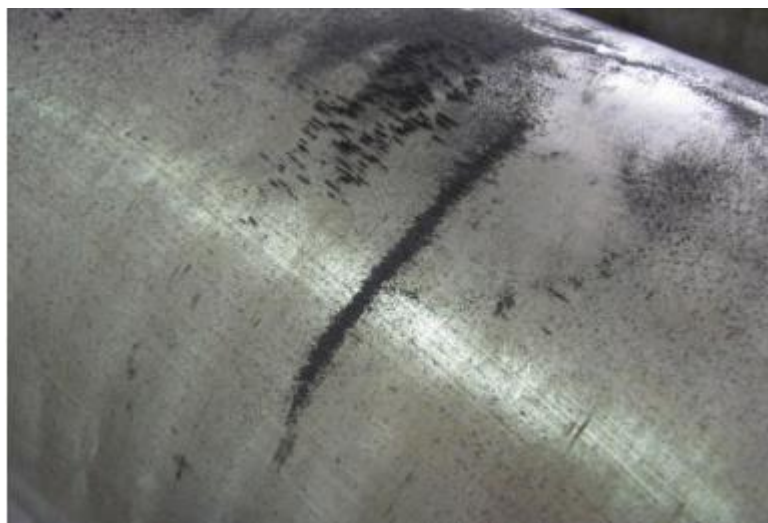


Рисунок 1.6 – Валик магнітного індикатора над тріщиною у середній частині осі колісної пари

Під котушкою у металі за законом електромагнітної індукції збуджується вихровий струм  $I_{вс}$  (рис. 1.7), який створює своє магнітне поле індукції  $B_{вс}$ , що взаємодіє з полем котушки вихрострумного перетворювача  $B_{п}$ , при цьому змінюється магнітний потік всередині котушки.

Значення магнітного потоку залежить від магнітної проникності та електропровідності металу, а отже, несе інформацію про наявність або відсутність дефекту в об'єкті контролю під перетворювачем.

Перед проведенням контролю проводять перевірку працездатності та налаштування дефектоскопа за допомогою відповідного стандартного зразка підприємства. Для виявлення дефектів вихрострумний перетворювач переміщують по поверхні контрольованої деталі, в зоні контролю, по заданим траєкторіям з певною швидкістю та кроком сканування. При спрацьовуванні світлового і звукового індикаторів у будь-якій точці необхідно провести не менше двох разів сканування зони навколо цієї точки зі зменшеним кроком сканування.

					6.273.190539.ПЗ	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		22

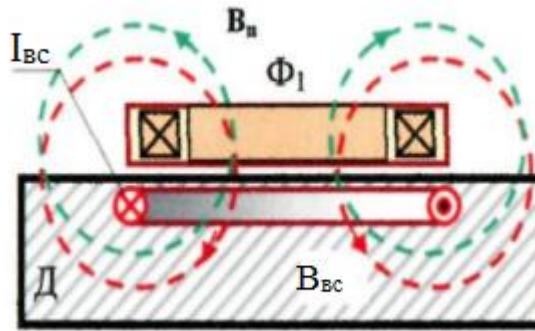


Рисунок 1.7 – Котушка ВСП зі змінним струмом:  $I_{вс}$  – вихровий струм;  $B_{вс}$  – магнітне поле індукції;  $B_n$  – магнітне поле котушки перетворювача;  $\Phi_1$  – магнітний потік; Д – деталь

При цьому причиною помилкового спрацьовування індикаторів можуть бути:

- ✓ перевищення допустимого робочого зазору між контрольованою поверхнею деталі та ВСП;
- ✓ шорсткості поверхні;
- ✓ відхилення перетворювача від нормалі до контрольованої поверхні;
- ✓ відрив ВСП від контрольованої поверхні;
- ✓ наближення до краю деталі.

Оцінку результатів контролю проводять з урахуванням вимог до деталей, наведених у нормативних та технологічних документах з технічного обслуговування та ремонту локомотивів, моторвагонного рухомого складу та їх складових частин.

На залізницях України знайшли широке застосування дефектоскопи ВД-12НФМ, ВД-12НФП, ВД-15НФМ та ВД-70, а також автоматизовані установки ВД-13НФ, ВД-19НФ, ВД-20НФ. Усі вони мають один принцип дії та конструкцію перетворювача. Відрізняються вони робочою частотою та схемним рішенням.

**Акустичний метод** заснований на випромінюванні та подальшому аналізі параметрів високочастотних пружних механічних коливань (ультразвукових

					6.273.190539.ПЗ	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		23

хвиль), що пройшли через контрольований виріб.Цей метод також називають ультразвуковим контролем (УЗК).

Розмаїття завдань, що виникають за необхідності проведення неруйнівного контролю різних виробів тягового рухомого складу, призвело до розробки та використання низки різних акустичних методів контролю. Найбільш широке поширення у практиці ультразвукової дефектоскопії знайшли імпульсні методи, які поділяються на:

- ✓ імпульсний ехо-метод, заснований на посиленні коротких ультразвукових
- ✓ імпульсів та відбиття їх від поверхні дефекту;
- ✓ тіньовий метод, пов'язаний з появою області «звукової тіні» дефекта, поперечні розміри якого перевищують довжину пружної хвилі;
- ✓ резонансний метод, в основі реалізації якого належить явище виникнення в досліджуваному матеріалі стоячих поздовжніх або зсувних хвиль;
- ✓ імпедансний метод, заснований на встановленні залежності сили реакції виробу на стрижень, що контактує з ним(перетворювач);
- ✓ метод акустичної емісії, заснований на реєстрації пружних хвиль ультразвукового діапазону, що стрибкоподібно з'являються при перебудові структури матеріалу, виникнення тріщин, алотропічних перетворень на кристалічній решітці;
- ✓ електромагнітно-акустичний метод, заснований на збудженні ультразвукових коливань в результаті взаємодії змінного та постійного магнітних полів з металом або феромагнетиком.

В даний час при виготовленні та виробництві ремонту тягового рухомого складу найбільше використання в дефектоскопах отримав імпульсний ехо-метод, який заснований на явищі відображення ультразвукових хвиль від поверхні дефекту та реєстрації відбитих сигналів.

З цією метою на деталь за допомогою п'єзоелектричного перетворювача поширюється послідовність коротких ультразвукових імпульсів, які називають «зондуючими». Ознакою виявлення дефекту є наявність ехо-сигналу, відбитого

					6.273.190539.ПЗ	Арк.
						24
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

від несплошності. Відбиті ультразвукові імпульси несуть інформацію про наявність якогось відбивача, його віддаленості від випромінювача та його розмірах. Розміри та місцезнаходження дефекту оцінюють за амплітудою та часом затримки (положення на екрані) відбитого ехо-сигналу. Схема роботи та типові дефектограми при контролі ехо-методом представлені на рис. 1.8.

Глибину залягання та відстань до дефекту при імпульсному контролі ехо-методом може бути визначено з високою точністю, так як попередньо відомі тип ультразвукової хвилі та швидкість її поширення у матеріалі.

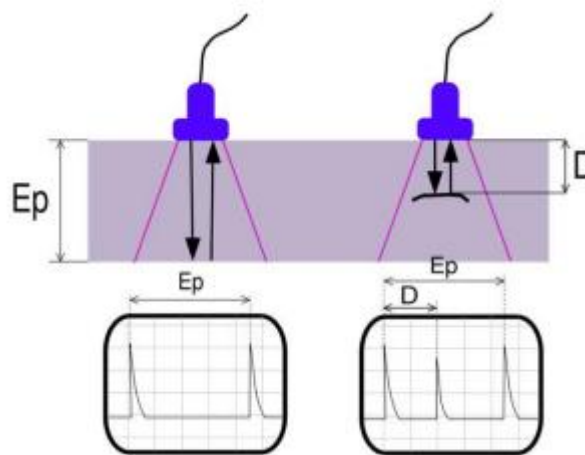


Рисунок 1.8 – Імпульсний ехо-метод ультразвукової дефектоскопії:  
 $E_p$  – товщина деталі,  $D$  – відстань від випромінювача до дефекту.

Ультразвуковий метод застосовують для контролю елементів колісної пари: осі, маточини, бандажа, великого зубчастого колеса та інших деталей ТРС при ремонті, у тому числі зварних конструкцій. Приклад виявленого дефекту з використанням ультразвукового методу представлений на рис. 1.9.

Основні види дефектоскопів для ультразвукового контролю, що використовують у локомотиворемонтних депо: УД2–102 «ПЕЛЕНГ», УД4–Т, УД2–70.

Виконання технології контролю, за всіма методами, проводиться в відповідно до технологічної карти, що складається фахівцями підприємства на основі стандартів АТ «Укрзалізниця» та типових нормативних документів щодо НК.

					6.273.190539.ПЗ	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		25



Рисунок 1.9 – Внутрішній дефект у осі, виявлений ультразвуковим методом

Технологічна карта для ультразвукового контролю містить відомості:

- ✓ найменування деталі;
- ✓ умовне позначення нормативних та технологічних документів, основі яких вона розроблена;
- ✓ марку сталі та шорсткість поверхні деталі;
- ✓ ескіз деталі з зазначенням зон контролю та траєкторій сканування;
- ✓ типи та характеристики дефектів, що підлягають виявленню;
- ✓ застосований дефектоскоп, стандартний зразок продукції підприємства та допоміжні засоби контролю;
- ✓ операції контролю та послідовність їх проведення;
- ✓ технологічне оснащення робочого місця, необхідне для проведення контролю (спосіб встановлення, закріплення та обертання деталі);
- ✓ критерії оцінки результатів контролю відповідно до вимог нормативних та технологічних документів з технічного обслуговування та ремонту локомотивів та мотор-вагонного рухомого складу та їх складових частин чи посилання ці документи;
- ✓ підписи осіб, які розробили та затвердили технологічну карту.

В ультразвукових приладах неруйнівного контролю для збудження та ретрації хвиль використовують п'єзоелектричні, магнітострікційні, електромагнітоакустичні та інші перетворювачі. Найбільше розповсюдження отримали п'єзоелектричні перетворювачі (ПЄП).

Принципова функціональна схема процесу збудження та ретрації ультразвукових коливань з використанням ПЄП зображена на рис. 1.10.

					6.273.190539.ПЗ	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		26

Генератор синхронізуючих імпульсів (*ГСИ*) вироблює короткий електричний імпульс, котрий через роз'єм *P1* подається на *ПСП1*. При викненому ключі *K2* *ПСП1* працює виключно в режимі випромінювання, а *ПСП2* – тільки в режимі отримання інформації.

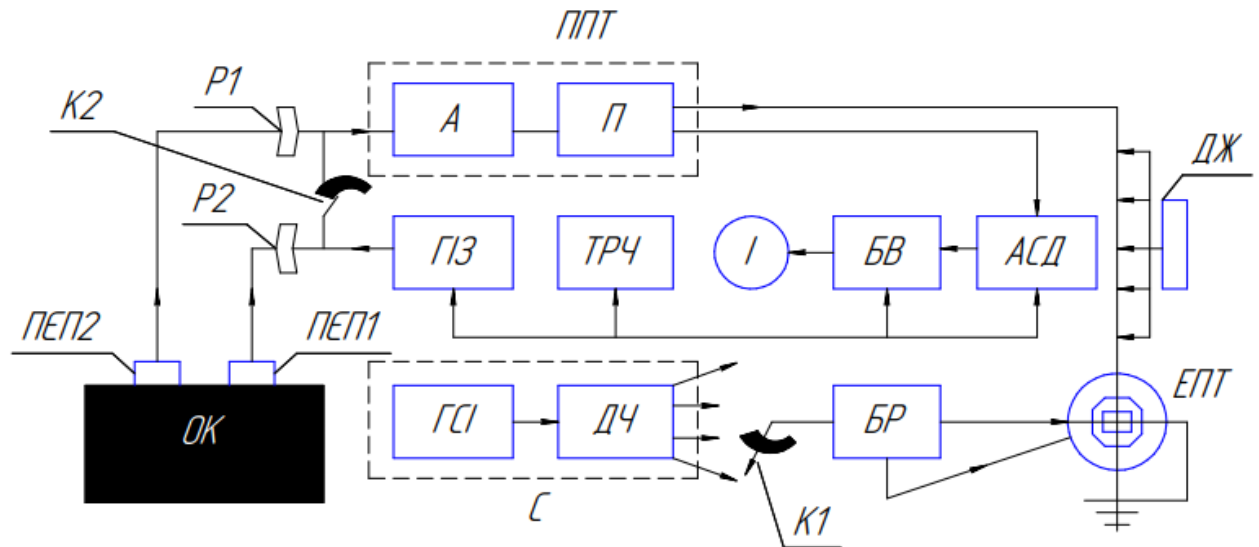


Рисунок 1.10 – Імпульсний ехо-метод ультразвукової дефектоскопії з функціональною схемою: *С* – синхронізатор; *OK* – об'єкт контролю; *ГСИ* – генератор синхронізуючих імпульсів; *ДЧ* – дільник частоти; *ГІЗ* – генератор імпульсів збудження; *P1, P2* – роз'єми; *А* – атенюатор; *П* – підсилювач; *ППТ* – приймально-підсилювальний тракт; *ЕПТ* – електронно-променева трубка; *K1, K2* – перемикачі; *ПСП* – п'єзоелектричний перетворювач; *БР* – блок розгортки підсвічування; *ТРЧ* – тимчасове регулювання чутливості; *АСД* – блок автоматичної сигналізації дефектів; *БВ* – блок вимірювання; *I* – індикатор; *ДЖ* – джерело живлення

Внаслідок зворотного п'єзоефекта *ПСП 1* перетворює електричний імпульс в пружне коливання, котре випромінюється в *OK* (об'єкт контролю) у вигляді ультразвукової хвилі. Ультразвукові коливання відбиваються від дефекта або дна *OK*, вертаючись до поверхні контролю. Внаслідок прямого п'єзоефекта пружні коливання перетворюються *ПСП 2* в електричний імпульс, котрий через роз'єм *P2* поступає на атенюатор (спеціальний пасивний пристрій, що зменшує напругу, струм або потужність електричних або електромагнітних коливань) [7].

## 2 ДОСЛІДЖЕННЯ ПОКАЗНИКІВ БЕЗВІДМОВНОСТІ І ДОВГОВІЧНОСТІ ЕЛЕМЕНТІВ КОЛІСНОЇ ПАРИ ТЯГОВОГО РУХОМОГО СКЛАДУ

### 2.1 Методика оцінки показників надійності елементів тягового рухомого складу

Кількісною характеристикою лише однієї властивості надійності служить одиничний показник, до якого належить показник безвідмовності.

У зв'язку з тим, що загалом безвідмовність ТРС та їх окремо складальних одиниць є високою, то для отримання якісної вихідної інформації потрібна велика тривалість спостережень і великий обсяг вибірки.

З метою визначення показників безвідмовності обладнання з неконтрольованими параметрами ТРС у період міжремонтних пробігів застосовується план випробувань на надійність. Залежно від конкретних умов та поставлених завдань розрізняють такі плани випробувань:

$[N,U,M],[N,U,T],[N,U,r],[N,R,T],[N,R,r]$ ,

де  $N$  – кількість виробів, поставлених під нагляд (у нашому випадку – кількість деталей у контрольній партії);

$U$  – позначення планів, в яких вироби ТРС, що відмовили, не замінюються новими (вибувають з-під спостереження);

$T$  – встановлене напрацювання або тривалість спостережень;

$R$  – позначення планів, в яких об'єкти, що відмовили, замінюються новими чи відновленими;

$r$  – кількість відмов або граничних станів виробів до виникнення яких ведуться спостереження.

При розгляді цих планів стосовно умов експлуатації тягового рухомого складу надаються такі види.

План спостережень  $[N,U,M]$ , або повний план, означає, що під спостереження взято контрольну партію з  $N$  рухомого складу або їх складових

					6.273.190539.ПЗ	Арк.
						28
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

виробів та випробування проводяться до відмови всіх об'єктів, вироби, що відмовили, не замінюються новими.

Таким чином, при повному плані визначають напрацювання до відмови виробів, що не відновлюються. Якщо об'єкти відновлюються, то за такого плану виявляють напрацювання тільки до першої відмови, потім їх виключають із спостереження.

Часову діаграму напрацювань при плані  $[N, U, N]$  наведено на рис. 2.1.

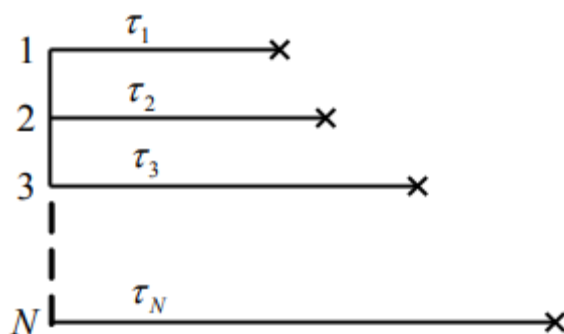


Рисунок 2.1 – Часова діаграма напрацювань при плані  $[N, U, N]$

Інформація про результати випробувань у вигляді вибірки, містить  $N$  значень напрацювання до відмови  $\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_N$ , яка дозволяє визначити вид закону розподілу, функцію розподілу  $F(t)$ , функцію щільності розподілу  $f(t)$  та її числові характеристики: середнє напрацювання до відмови  $T^*$  та дисперсію напрацювання до відмови  $D_t^*$ :

- середнє напрацювання до відмови  $T^*$  знаходять за формулою:

$$T^* = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \tau_i \quad (2.1)$$

- дисперсію напрацювання до відмови  $D_t^*$  знаходять за формулою:

$$D_t^* = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (t_i - T^*)^2 \quad (2.2)$$

В результаті отриманої щільності розподілу  $f(t)$  розраховуються решта показників безвідмовності:

- ймовірність відмови  $Q(t)$  за формулою:

$$Q(t) = \int_0^t f(t)dt \quad (2.3)$$

- ймовірність безвідмовної роботи  $P(t)$  за формулою:

$$P(t) = 1 - Q(t) \quad (2.4)$$

- інтенсивність відмов  $\lambda(t)$  за формулою:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{P(t)} \quad (2.5)$$

## 2.2 Оцінка показників надійності елементів тягового рухомого складу за результатами діагностування

Для промислових виробів напрацювання до відмови оцінюється в годинах (наприклад, моторесурс дизеля). На залізничному транспорті для оцінки надійності рухомого складу переважно використовується пробіг, тобто, відстань, пройдена ТРС у робочому стані. Тому у планах випробувань на надійність ТРС для оцінки тривалості спостережень використовують пробіг,  $L_o$ , тобто встановлений пробіг, після якого проводиться планове відновлення працездатності об'єкта чи він замінюється новим.

Таким чином, плани спостережень ТПС можуть бути подані у вигляді:

$[N, U, N], [N, U, L_o], [N, U, r], [N, R, L_o], [N, R, r]$

Виходячи з отриманої в результаті таких випробувань інформації, можна розрахувати точкову оцінку ймовірності відмови випробуваного обладнання

					6.273.190539.ПЗ	Арк.
						30
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

моменту проведення чергового планового ремонту  $L_0$  як:

$$Q^*(L_0) = \frac{r}{N} \quad (2.6)$$

Упорядкувавши напрацювання до відмови для всіх екземплярів обладнання, що відмовили, в порядку зростання у варіаційний ряд, є можливість побудувати залежність оцінки ймовірності відмови від напрацювання  $Q^*(\tau_i)$  в міжремонтний період (рис. 2.2).

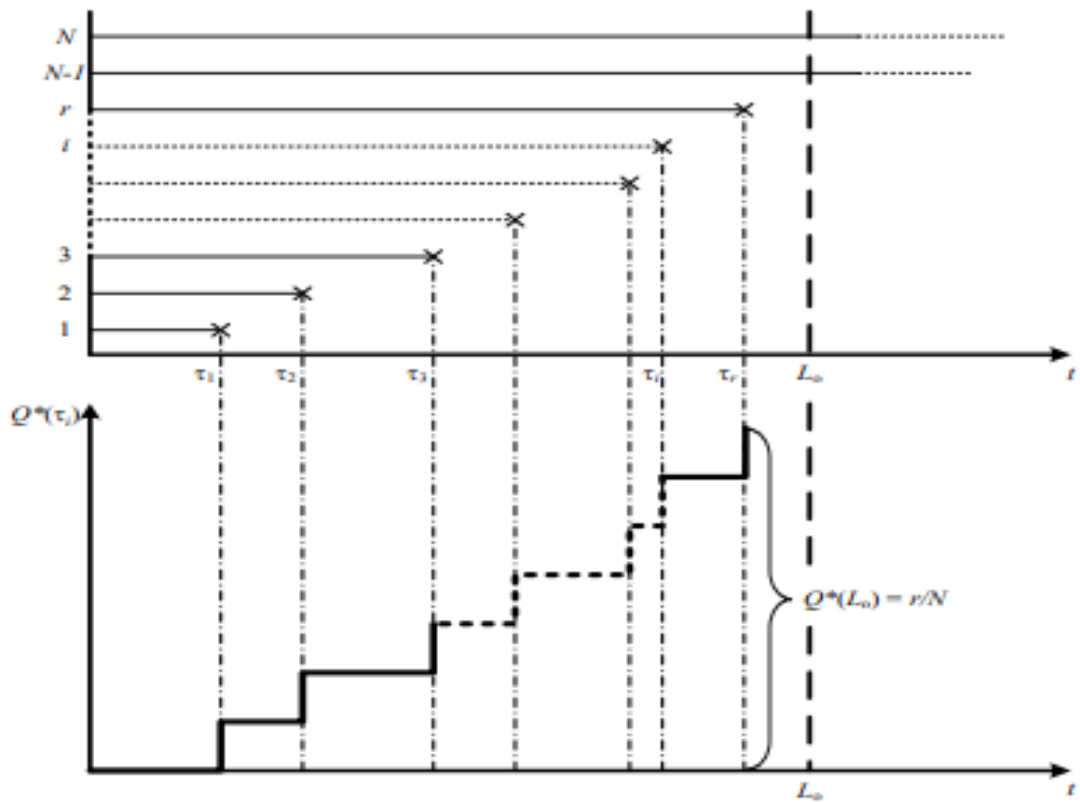


Рисунок 2.2 – Оцінка ймовірності відмови у міжремонтному періоді неремонтованого обладнання ТРС

Слід зазначити, що розраховані значення оцінки ймовірності відмови є точковими, і вони обмежені праворуч моментом проведення чергового планового ремонту. Тому для визначення інтенсивності відмов обладнання ТРС за цими результатами необхідно мати повну теоретичну залежність ймовірності відмови від напрацювання, тобто таку, що не має усічення праворуч.

Для отримання цієї залежності надходять таким чином:

1) задаються одним із відомих типів законів розподілу напрацювання до відмови  $F(t)$ ;

2) задаються значення параметрів вибраного розподілу  $F(t) = f(m_x, \sigma_x)$  або  $F(t) = f(a, b)$ ;

3) порівнюють оцінку функції ймовірності відмови  $Q^*(\tau_i)$  в інтервалі міжремонтного пробігу із заданим теоретичним розподілом  $F(t)$  і розраховують суму квадратів відхилень між функціями при відомих значеннях напрацювань до відмови  $\tau_i$  за формулою:

$$S_g^2 = \sum_{i=1}^r [Q^*(\tau_i) - F(\tau_i)]^2 \quad (2.7)$$

Спостереження за параметрами деталей, як правило, не вдається здійснювати постійно. Під час проведення чергових видів ремонту чи оглядів тягового рухомого складу здійснюють вимірювання контрольованого параметра. Реалізація контрольованого параметра походить від моменту номінальної її величини, заводської або відновленої, до граничного значення в період кількох послідовних вимірів. У міру зміни контрольованого параметра, при певному напрацюванні, відбувається вихід його за встановлене граничне значення  $x_{доп}$ , тобто настає відмова деталі. Наприклад, знос поверхні зуба шестерні редуктора або товщини бандажа призводить до відмов колісної пари, якщо їхнє значення перевищить мінімальне (товщина зуба шестерні редуктора 11 мм, товщина бандажу 45 мм). В даному випадку контрольований параметр відноситься до «зменшується». Приклад реалізації контрольованого параметра, що зменшується, при певному напрацюванні  $L$  представлено на рис. 2.3.

Напрацювання повністю обумовлене низкою випадкових факторів – якістю виготовлення деталі, умовами експлуатації, якістю проведеного обслуговування, ремонту та застосованих матеріалів, ступеня підготовленості обладнання, персоналу, і це все є випадковою величиною.

						Арк.
					6.273.190539.ПЗ	32
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

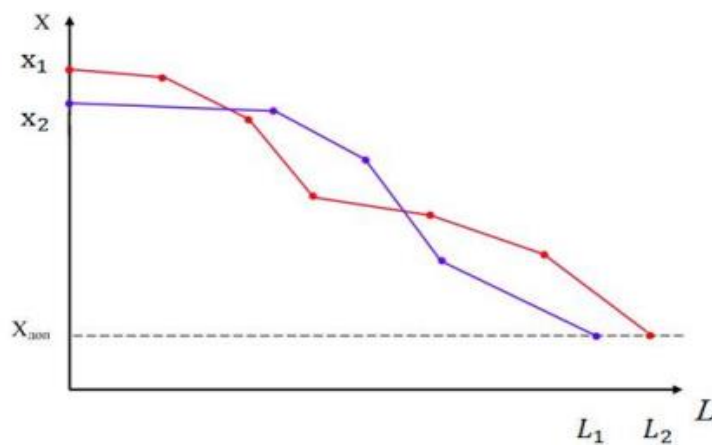


Рисунок 2.3 – Характер зміни товщини зуба та товщини бандажу зі збільшенням напрацювання

Будь-яке співвідношення, що встановлює зв'язок між можливими значеннями випадкової величини та відповідними їм ймовірностями є закон розподілу випадкової величини.

При проведенні вимірів контрольованих параметрів колісної пари: прокат колеса, товщина гребеня, товщина бандажа проводять згідно діючих норм та стандартів, величини вимірюються не рідше одного разу за 30 діб. В інтервалі часу між двома вимірами пробіг локомотива може бути різним, що викликає зсув реалізацій контрольованого параметра по осі пробігу. Проте, розкидом значень пробігу різних локомотивів можна знехтувати та вважати, що контроль технічного стану локомотива здійснюється через однакові інтервали пробігу, а результати вимірювань контрольованих параметрів утворюють рівновіддалені ряди спостережень. Інформацію про значення контрольованого параметра та відповідні напрацювання обладнання з метою подальшої обробки та оцінки показників надійності доцільно систематизувати у вигляді таблиці 2.1.

У даній таблиці в кожному  $i$ -му рядку вносяться значення контрольованого параметра конкретної деталі, отримані на тому самому,  $i$ -ом за рахунком вимірі ( $i = 1 \dots n$ ). Число вимірів контрольованого параметра для кожного вимірювання може дорівнювати  $N_1$  і зменшуватися у зв'язку з вибуттям з-під спостереження деталей при проведенні позапланових видів ремонтів. Прикладом може послужити заміна колісно-моторних блоків через несправність буксового вузла.

					6.273.190539.ПЗ	Арк.
						33
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

Таблиця 2.1 – Результати вимірювання контрольованого параметра

1	Значення контрольованого параметра деталі							
	1	2	....	....	j	....	....	N
$l_0$	$x_{01}$	$x_{02}$	....	....	$x_{0j}$	....	....	$x_{0N}$
$l_1$	$x_{11}$	$x_{12}$	....	....	$x_{1j}$	....	....	$x_{1N}$
$l_2$	$x_{21}$	$x_{22}$	....	....	$x_{2j}$	....	....	$x_{2N}$
....	....	....	....	....	....	....	....	....
$l_i$	$x_{i1}$	$x_{i2}$	....	....	$x_{ij}$	....	....	$x_{iN}$
....	....	....	....	....	....	....	....	....
$l_n$	$x_{n1}$	$x_{n2}$	....	....	$x_{nj}$	....	....	$x_{nN}$

### 2.3 Розрахунок показників довговічності елементів колісної пари локомотива

Функції відновлення обладнання, яке не має контрольованих параметрів та функції розподілу ресурсу обладнання, що зношується, є вихідними для розрахунку оптимальних термінів відновлення обладнання тягового рухомого складу. Оптимізацію системи ремонту ТРС доцільно здійснювати за критерієм, який включав би всі види витрат на виконання технічного обслуговування та ремонту, що припадають на обсяг роботи, виконаної локомотивами. Оскільки розв'язання задачі оптимізації системи ремонту здійснюється для конкретних умов експлуатації, все відповідні значення показників, що входять до критерію оптимальності, слід визначати з урахуванням цих умов. Тоді найбільшу ефективність роботи локомотивів можна отримати, якщо при визначенні оптимальної системи ремонту як критерій оптимальності використовувати ставлення до вимірнику напрацювання сумарних витрат на виконання ремонтів протягом певного періоду.

Виходячи з того, що як основний вимірник напрацювання прийнято лінійний пробіг, його доцільно використовувати як показник виконаної роботи. Отже, критерій оптимальності доцільно виразити як відносини сумарних витрат

за виконання ремонтів за певний період напрацювання до тривалості цього періоду.

За результатами проведених розрахунків та отриманих даних побудовано графіки функцій розподілу для всіх елементів колісної пари електровоза ВЛ80С. Для подальшого аналізу та визначення елемента, що лімітує міжремонтні пробіги, функції розподілу ресурсу елементів колісної пари згруповані за величиною пробігу та побудовані в одних осях (рис. 2.4 та рис. 2.5).

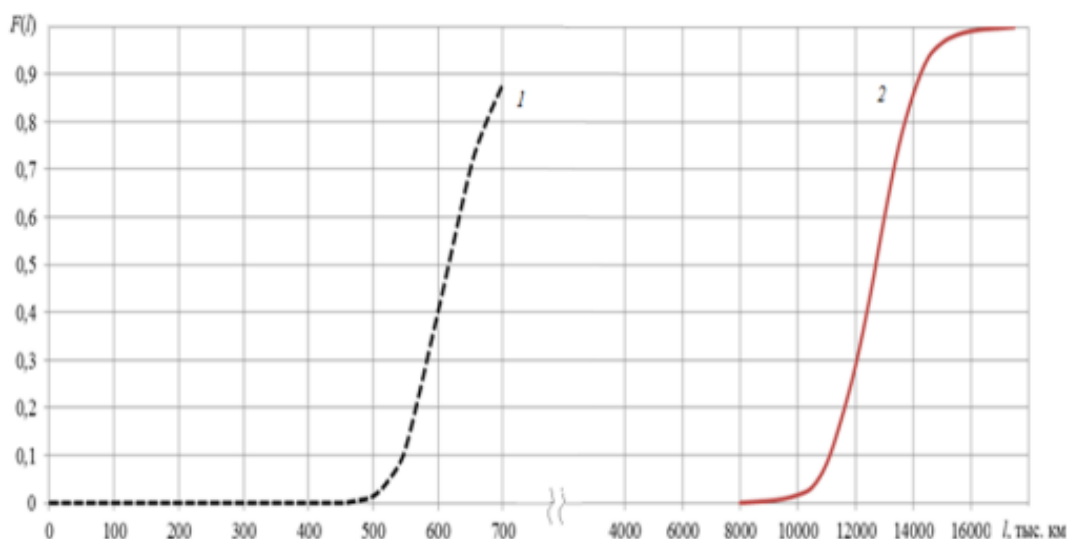


Рисунок 2.4 – Функції розподілу ресурсу елементів колісної пари електровоза ВЛ80С, обумовлені зношуванням: 1 – за товщиною бандажу; 2 – по товщині зуба великого зубчастого колеса

Результати розрахунку 90% та 95% ресурсу всіх елементів колісної пари електровоза ВЛ80 представлені у таблиці 2.2.

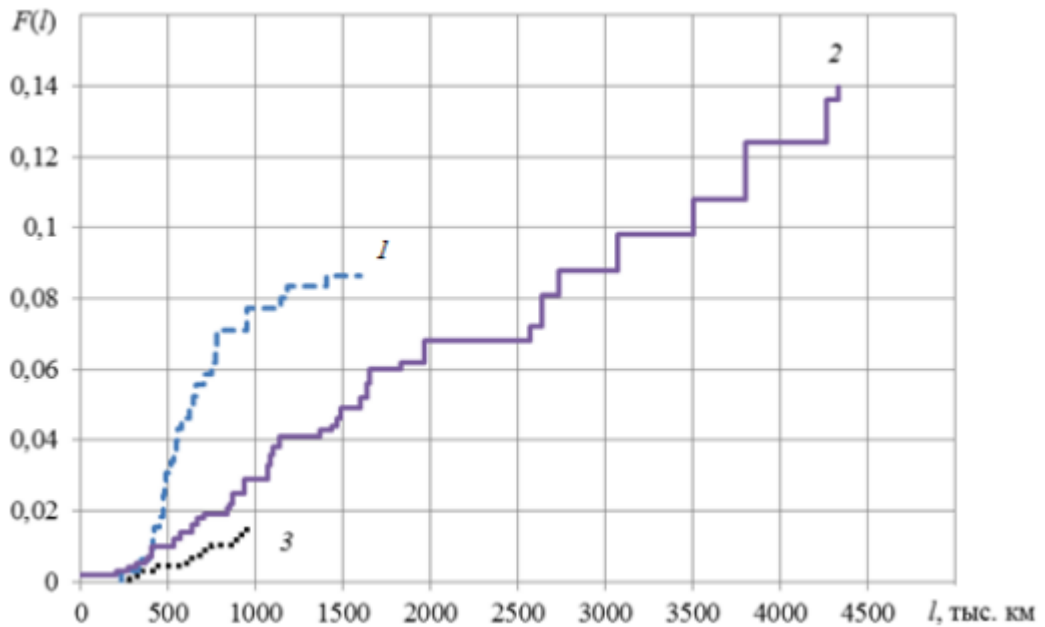


Рисунок 2.5 – Функції розподілу ресурсу елементів колісної пари електровоза ВЛ80С за результатами неруйнівного контролю:

1 – колісний центр; 2 – вісь; 3 – велике зубчасте колесо

Таблиця 2.2 – Результати розрахунку 90% та 95% ресурсу елементів колісної пари електровоза ВЛ80

Елемент колісної пари	$L_{90\%}$ , тис.км	$L_{95\%}$ , тис.км
Велике зубчасте колесо (за зносом)	10850	10470
Бандаж (за зносом)	550	520
Неруйнівний контроль колісного центра	1000	600
Неруйнівний контроль колісної пари	3700	1850
Неруйнівний контроль великого зубчастого колеса	2000	1700

У таблиці 2.2 наочно показано, що лімітуючим елементом колісної пари електровоза ВЛ80С за ресурсом є бандаж колеса за зносом.

### 3. ЗАПРОВАДЖЕННЯ ПЕРСПЕКТИВНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ ДІАГНОСТУВАННЯ ТА НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ ДЕТАЛЕЙ ТЯГОВОГО РУХОМОГО СКЛАДУ

#### 3.1 Використання лазерного діагностичного контролю колісних пар

Безпека поїздів, що рухаються забезпечується регулярним контролем коліс на виявлення дефектів. Було розроблено високошвидкісний лазерний безконтактний метод контролю (рис. 3.1) геометричних параметрів рухомих 3D об'єктів на основі триангуляційних PSD датчиків з швидкодією до  $10^5$  вимір./с [8].

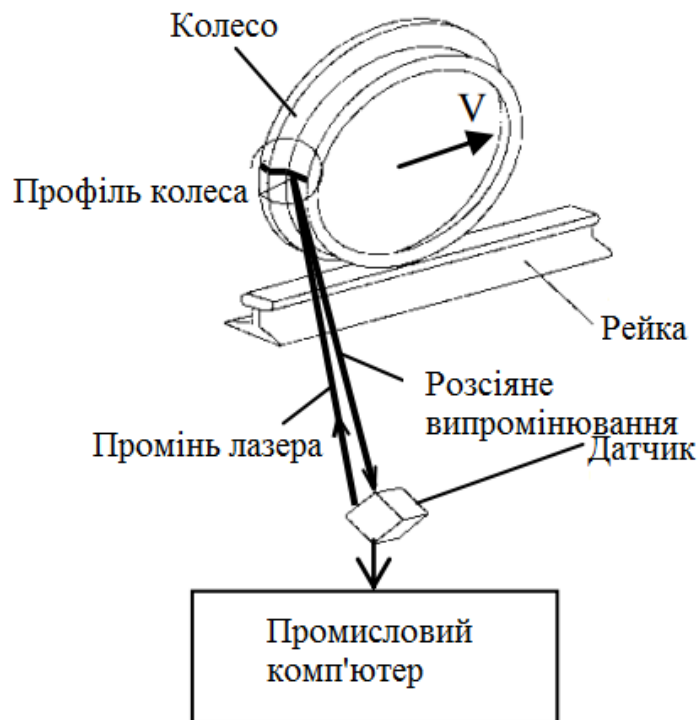


Рисунок 3.1 – Принцип дії системи контролю геометричних параметрів колісних пар час руху поїзда

Було розроблено та створено всесезонну систему «КОМПЛЕКС» для автоматичного контролю геометрії колісних пар ТРС.

На поверхні колеса, що рухається рейками, фокусується випромінювання лазерного діода вимірювального датчика. Розсіяне випромінювання збирається апаратурою приймального об'єктива, що буде зображення освітленої ділянки

					6.273.190539.ПЗ	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		37

поверхні на позиційно-чутливому фотоприймачеві. Сигнал від позиційно-чутливого приймача фіксується та обробляється промисловим комп'ютером.

В основу системи покладено принцип самосканування колісної пари (рис. 3.2) з використанням набору активних лазерних дальномірів триангуляційного типу, при котром кожне з колес паралельно та незалежно сканується зовнішнім та наружним дачиками, що встановлені відповідно всередині та ззовні колії.

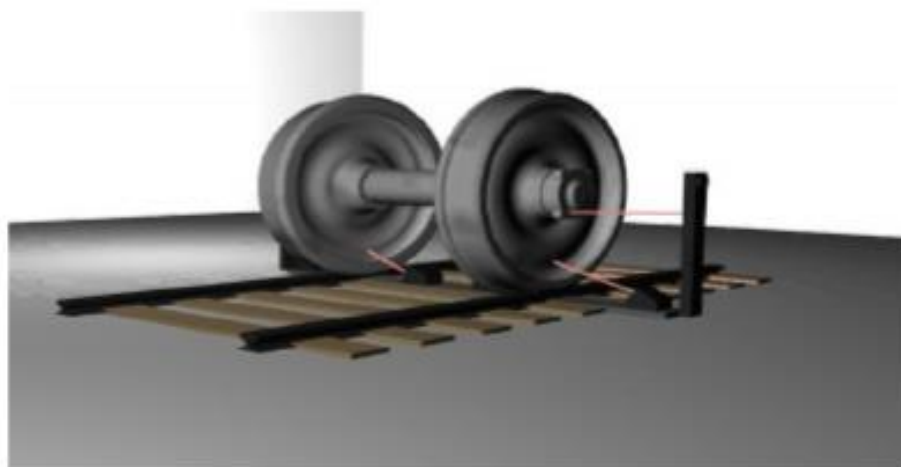


Рисунок 3.2 – Принцип самосканування колісної пари

При русі колісної пари кожен з датчиків виміряє відстань до поверхні колеса (вздовж заданого напрямку вимірювання). Формуються сигнали, що відображають профіль колісної пари в деякому перерізі кут та висота якого визначаються напрямками вимірювання датчиків.

Структура та склад системи «КОМПЛЕКС» представлені на рис. 3.3. Система складається з підлогового, постового обладнання та АРМ оператора.

Підлогове обладнання системи змонтоване на колії на спільній рамі і складається з зовнішніх та внутрішніх датчиків, датчиків температури та синхронізації.

Постове обладнання встановлюють в опалюємому приміщенні поблизу підлогового обладнання, воно складається з блоку керування та синхронізації, двох незалежних модулів збору даних та сервера.

					6.273.190539.ПЗ	Арк.
						38
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

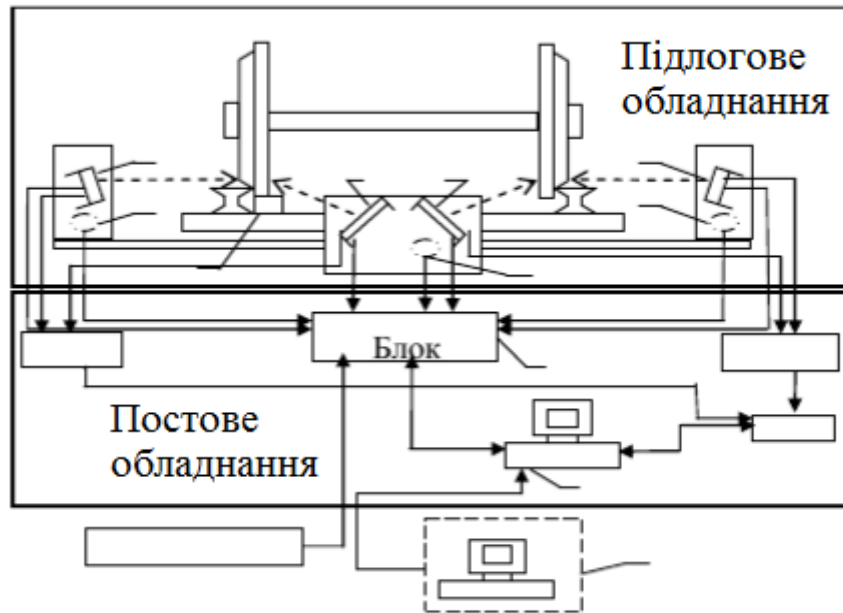


Рисунок 3.3 – Функціональна схема системи «КОМПЛЕКС»

Керування роботою системи «КОМПЛЕКС» здійснюється за допомогою блоку керування та синхронізації. Цей блок приймає сигнал о наближенні поїзда («дальнє сповіщення») від засобів СЦБ та видає серверу сигнал на готовність до проведення вимірювань. Підготовка включає в себе тестування датчиків і апаратури в цілому. Проходження колісних пар по зоні контролю фіксується за допомогою магнітних педалей, по котрим формуються імпульси початку (СТАРТ) та кінця вимірювань (СТОП) для кожної колісної пари. За сигналом СТАРТ модулі збору даних починають фіксувати дані з датчиків і запам'ятовувати їх до сигналу СТОП. Після проходження поїзда блок керування формує сигнал «Кінець поїзда». Отримав даний сигнал, сервер переводить датчики в режим очікування та приймає від модулів збору інформації накопичені блоки інформації.

Для реалізації запропанованого принципу вимірювань колісних пар потрібні дальноміри, що мають задовільняти певним вимогам: похібка вимірювань має бути 0,1% та нижче, не маю бути залежності вимірювань від типу поверхні, швидкодія – не менш за  $10^5$  вимірювань за секунду, вимірювання мають проводитись в несприятливих умовах під дією збурень – потужних зовнішніх завад та фонових засвічень, як постійних, так і змінних.

									Арк.
									39
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата	6.273.190539.ПЗ				

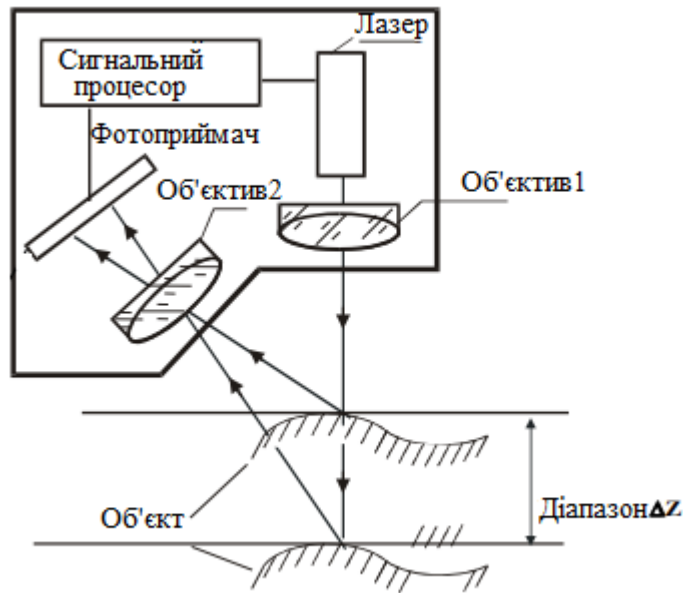


Рисунок 3.4 – Оптична схема триангуляційного вимірника

У системі «КОМПЛЕКС» використовують датчики моделі Лабракон ЛДП 170/410 (рис. 3.5), які мають двоканальний аналоговий вихід (від 0 до 10 В), сигнали з яких надходять на входи плати АЦП модуля збору даних. Аналогові сигнали першого і другого каналів перетворюються на цифровий код. Потім обчислюється відношення різниці сигналів з двох каналів АЦП до їх суми та калібрувальної таблиці визначається координата контрольованої поверхні. Ця координата (поверхні колеса у системі відліку датчика) використовується далі для побудови профілю колеса та розрахунку його геометричних параметрів.



Рисунок 3.5 – Зовнішній вигляд датчика Лабракон ЛДП 170/410

						Арк.
					6.273.190539.ПЗ	40
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

Датчики встановлюються на жорсткій рамі у термостабілізованому корпусі. Всередині корпусу підтримується постійна температура від 49 до 51°C. Корпус має шторки для захисту оптичних каналів, що використовуються також при самотестуванні датчиків.

Похибка датчиків при діапазоні виміру більше 200 мм не перевищує 0,2 мм. Швидкодія датчика досягає 500 000 вимірювань за секунду.

					6.273.190539.ПЗ	Арк.
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		41

## ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

Виконання контролю надійності деталей тягового рухомого складу в процесі їх виготовлення, ремонту та експлуатації є найважливішим завданням щодо забезпечення безпечної та ефективної роботи залізничного транспорту.

У бакалаврській роботі проведено аналіз технічного стану елементів колісних пар, що впливають на експлуатаційну надійність тягового рухомого складу з застосуванням інструментального методу контролю та неруйнівного контролю деталей, проаналізовано види та методи неруйнівного контролю, досліджено показники безвідмовності і довговічності елементів колісної пари тягового рухомого складу, запропановано використання методу лазерного діагностичного контролю колісних пар як перспективного засобу для діагностування та неруйнівного контролю деталей тягового рухомого складу.

На основі аналізу процесів зміни контрольованих параметрів колісних пар, таких як: товщина бандажа, товщина зуба великого зубчастого колеса та непараметричного контролю із застосуванням методів неруйнівного контролю деталей: вісь колісної пари, колісний центр, велике зубчасте колесо тягового редуктора, бандаж, були визначені закони їх розподілу та числові характеристики для кожного з параметрів при фіксованому напрацюванні. Встановлено, що дані вибірки величин всіх контрольованих параметрів колісних пар добре описуються нормальним законом розподілу.

Оптимальні терміни відновлення обладнання ТРС необхідно визначати виходячи з аналізу зміни зі збільшенням напрацювання показників безвідмовності та довговічності обладнання у конкретних умовах експлуатації.

Для контролю дефектів бандажа, що є складом елементом колісної пари, пропонується використання сучасного лазерного безконтактного методу контролю рухомих 3D об'єктів на основі датчиків з швидкодією до  $10^5$  вимір./с.

Застосування сучасних діагностичних систем дозволяє помітно підвищити безпеку руху на залізничному транспорті.

					6.273.190539.ПЗ	Арк.
						42
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Буряк, С. Ю. Контроль стану поверхні кочення коліс рухомого складу залізниць акустичним методом / С. Ю. Буряк // Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті. – 2013. – № 6. – С. 58–65.

2. Куліченко А. Я. Науково-технологічні основи ремонтного виробництва вантажних засобів залізничного транспорту : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.22.20. Дніпропетровськ, 2011. 36 с.

3. Артемчук, В. В. Підвищення надійності корпусів букс колісних пар електровозів : авт. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.07 / В. В. Артемчук ; Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2002. – 20 с.

4. Буряк, С. Ю. Диагностирование состояния поверхности катания колеса подвижного состава железных дорог / С. Ю. Буряк // Наука та прогрес транспорту. – 2013. – № 1. – С. 22–29. – doi: 10.15802/stp2013/9576.

5. Бабенко Я. В. Розробка заходів зі зменшення зношування поверхні коліс колісних пар локомотивів : дипломна робота на здобуття кваліфікаційного ступеня магістра : спец. 273 – залізничний транспорт / наук. керівник М. І. Капіца ; Дніпров. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. Дніпро, 2020. 77 с.

6. Грищенко М. А. Підвищення експлуатаційної безпеки елементів колісних пар на основі визначення механізмів формування дефектів : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.22.20. Дніпропетровськ, 2015. 21 с.

7. Сайт Вікіпедія [Електронний документ] Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D1%82%D0%B5%D0%BD%D1%8E%D0%90%D1%82%D0%BE%D1%80>

8. Байбаков А.Н. Автоматический контроль геометрических параметров колесных пар во время движения поезда. Автометрия, 2004.Т.40, № 5, с.94-103.

9. Боднар, Б. Є. Теорія та конструкція локомотивів. Екіпажна частина [Текст]: підручник для ВНЗ залізн. трансп. / під ред. Б. Є. Боднара. – Д.: ПП Ліра ЛТД, 2009. – 284 с.

					6.273.190539.ПЗ	Арк.
						43
Зм	Аркуш	№ докум	Підпис	Дата		