

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ НАУКИ І ТЕХНОЛОГІЙ

Факультет “*Транспортна інженерія*”

Кафедра “*Локомотиви*”

“ДО ЗАХИСТУ”

Зав. кафедрою *Б. Боднар* Борис БОДНАР

“20” XII 2022 р.

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи *магістра*

на тему: “**Удосконалення системи утримання локомотивів за рахунок впровадження методології RCM**”

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

Виконав: студент групи *ЛГ2121*

В. Яблонський Владислав ЯБЛОНСЬКИЙ

Керівник *А. Очкасов* Олександр ОЧКАСОВ

Нормоконтролер *Л. Колодій* Людмила КОЛОДІЙ

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

Студент *В. Яблонський*

Дніпро, 2022

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 locomotive maintenance system due to
the implementation of the RCM methodology**”

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

Done by the student of the group *LG2126*:

Vladyslav YABLONSKY

Scientific Supervisor: Mihajlo KAPITSA

Normative controller: Liudmyla KOLODII

Dnipro, 2022

РЕФЕРАТ

Дипломна магістерська робота на тему: «Удосконалення систем утримання локомотивів за рахунок впровадження методології RCM». Тема магістерської роботи актуальна для підприємства. Загальний обсяг 85 аркушів розрахунково-пояснювальної записки, яка складається трьох розділів, містить 47 рисунки, 14 таблиць, список літератури з 19 джерел, 2 додатки.

Об'єкт дослідження: системи управління локомотивного парку.

Мета дослідження: аналіз способів скорочення витрат на утримання локомотивів за рахунок удосконалення системи утримання.

В роботі виконано аналіз існуючих підходів до організації систем утримання локомотивів, розглянуто основні складові методології RCM. Практична реалізація підходів методології RCM виконана на прикладі колісних пар електровозів. При виконанні дипломної магістерської роботи зібрано статистичні дані щодо зносу колісних пар в експлуатації. На основі проведених розрахунків щодо динаміки зносу колісних пар автор показав доцільність впровадження індивідуальних підходів в плануванні ТО та ремонтів.

Галузь застосування: ремонт та технічне обслуговування.

Економічний ефект: скорочення витрат часу, що утворюються в результаті очікування локомотивами обслуговування.

					0032.175383.000.04MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

ВСТУП	3
1. АНАЛІЗ СИСТЕМ УТРИМАННЯ ЛОКОМОТИВІВ	5
1.1 Існуючі системи утримання локомотивів.....	5
1.2. Огляд підходів до побудови систем утримання транспортних засобів....	12
2. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА МЕТОДОЛОГІЇ RCM	28
2.1 Root Cause Analysis - аналіз першопричин.....	31
2.2 FMEA – аналіз причин та наслідків відмов.....	35
2.3 Діаграма причин та наслідків Ісікави.....	39
2.4 Функціональна та потенційна відмови	40
2.5 Періодичний огляд обладнання для визначення інтервалу Р – F	43
3. ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДОЛОГІЇ RCM НА ПРИКЛАДІ КОЛІСНИХ ПАР ЕЛЕКТРОВОЗІВ	47
3.1 Типові несправності колісних пар та способи їх виявлення	48
3.2 Аналіз статистики щодо зносу колісних пар електровозів.....	54
3.3 Порівняльний аналіз зношування по електровозах.....	68
3.4 Пропозиції удосконаленню системи утримання.....	70
ВИСНОВКИ.....	72
ЛІТЕРАТУРА	73

					<i>0032.175383.000.04MP.ПЗ</i>				
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>					
<i>Розроб.</i>		Яблонський В.А.			<i>Літ.</i>			<i>Арк.</i>	<i>Акрушіє</i>
<i>Перевір.</i>		Очкасов О.Б.					2	152	
<i>Реценз.</i>					<i>УДУНТ. зр. ЛГ2121</i>				
<i>Н. Контр.</i>		Колодій НІ							
<i>Затверд.</i>		Боднар Є.Б.							
					Удосконалення системи утримання локомотивів за рахунок впровадження методології RCM				

ВСТУП

Завдання скорочення експлуатаційних витрат є актуальним для будь-якої транспортної компанії, що експлуатує рухомий склад. Значна частина експлуатаційних витрат транспортних компаній виділяється на забезпечення справного технічного стану транспортних. У локомотивному господарстві більшість експлуатаційних витрат спрямовано на витрати пов'язані з оплатою енергоресурсів, як і технічне обслуговування і ремонт локомотивів. Одним із методів скорочення експлуатаційних витрат транспортних компаній є удосконалення системи технічного утримання локомотивного парку [1]. Тому передові технології технічного обслуговування та їх застосування є ключовими факторами для зменшення витрати на технічне обслуговування, залучення людських ресурсів і забезпечення безпечної, стабільної та надійної роботи поїздів.

На сьогоднішній день ремонт та технічне обслуговування локомотивів українських залізниць, як і більшості країн колишнього СРСР, виконується згідно з фіксованим графіком, коли необхідність та вид ремонту, як правило, визначаються пробігом локомотива. Такий підхід не враховує фактичний стан вузлів локомотивів та реальну необхідність ремонту даного виду, що призводить до ще більших додаткових витрат, що являється економічно не ефективним. Крім того, відсутність кваліфікованого персоналу та інформації про обсяг та перелік ремонтних робіт для конкретних локомотивів ускладнює планування ремонту в депо та суттєво збільшує час його виконання [1].

Оптимізації системи утримання рухомого складу залізниць присвячені роботи багатьох вчених. Значна кількість робіт присвячена коригуванню міжремонтних пробігів під час використання планово-попереджувальної системи, а також оцінки впливу технічного стану локомотивів на міжремонтні пробіги. Транспортні компанії прагнуть збільшення міжремонтних пробігів з метою зменшення своїх витрат. При цьому необхідно враховувати, що

					0032.175383.000.04MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		3

необґрунтоване збільшення міжремонтних пробігів автоматично веде до підвищення ймовірності появи відмови, і це збільшення загалом знижує безпеку руху. З іншого боку, для забезпечення високого рівня надійності та збільшення міжремонтних пробігів виробники локомотивів використовують матеріали та технології, що призводять до збільшення вартості нового локомотива [1].

Як висновок розуміємо, що планування обслуговування і утримання будь якого пристрою потребує чималої кількості навичок та знань для ефективного використання будь-якого ресурсу.

					<i>0032.175383.000.04MP.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		4

1. АНАЛІЗ СИСТЕМ УТРИМАННЯ ЛОКОМОТИВІВ

1.1 Існуючі системи утримання локомотивів

Завданням системи технічного утримання транспортних засобів є постійний контроль та підтримання їх технічного стану та надійності на певному рівні, якого буде достатньо для виконання ними заданих функцій при вказаних умовах або готовності до використання та виконання поставлених завдань [1].

З одного боку локомотив – це складна технічна система, що складається з взаємодіючих підсистем різної фізичної природи та типу. Для кожної підсистеми необхідно використовувати окрему методику визначення технічного стану та залишкового технічного ресурсу. Причому працездатність більшості підсистем є критичною з точки зору працездатності самого локомотива та безпеки руху в цілому. А от з точки зору компанії, що експлуатує локомотив, це частина загальної системи управління локомотивним парком. При цьому на вибір системи утримання локомотива впливають такі фактори як: характеристика ремонтного підприємства, рід служби та умови експлуатації, історія експлуатації кожного локомотива (електронний паспорт), рівень оснащення та завантаження підприємства що займається ремонтом, статистика відмов вузлів локомотива та локомотивів даної серії та ряд інших факторів.

Для вибору найбільш ефективного варіанта системи технічного утримання, розглянемо та проаналізуємо основні напрямки створення та розвитку систем технічного обслуговування та поточного ремонту транспортних засобів [1].

					0032.175383.000.04MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

Загалом у теорії організації ремонту та обслуговування технічних засобів виділяють такі системи обслуговування:

- система обслуговування та ремонту при відмові;
- планово попереджувальна система;
- система ремонту за фактичним станом;
- комбінована система обслуговування та ремонту.

1.1.1 Система обслуговування та ремонту до відмови

Розглянемо можливості використання таких систем для локомотивів та локомотивного господарства в цілому.

Найпростіший з погляду організації ремонту локомотивного парку може вважатися система ремонту при відмовою. Схематично організація ремонту локомотивів за такої системи можна розглянути на рисунку під номером 1.1.

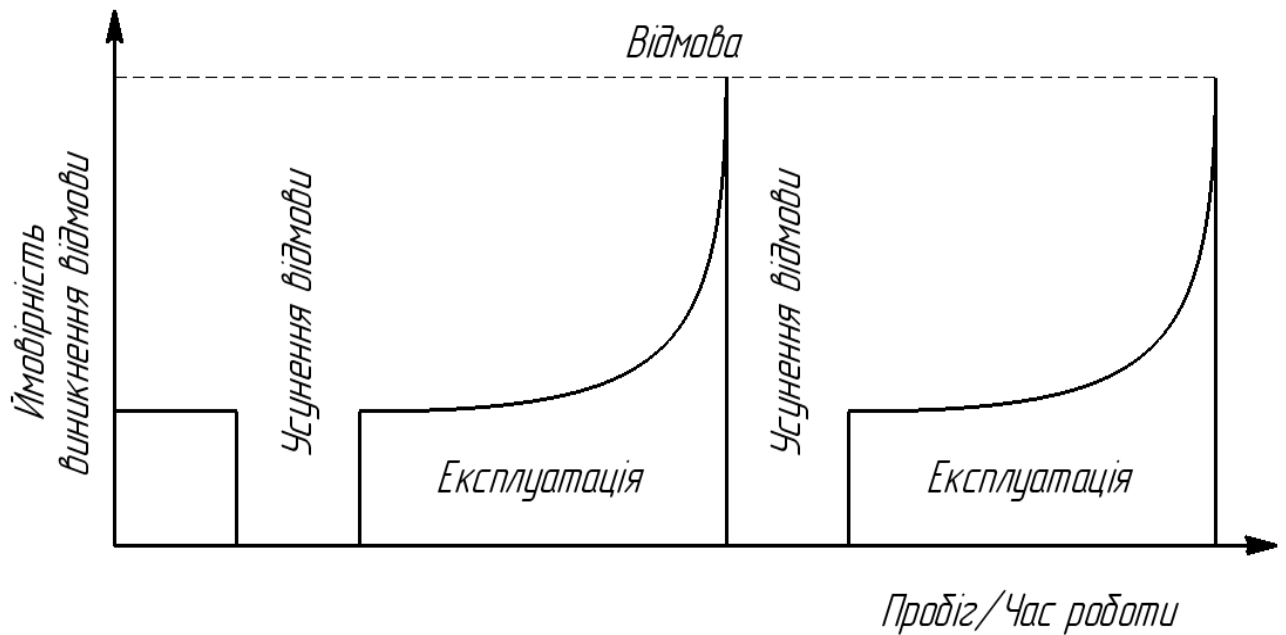


Рисунок 1.1 - Схема організації ремонту локомотивів під час використання системи ремонту «до відмови»

В цьому випадку локомотив експлуатується до моменту виникнення відмови. Використання такого підходу повністю виключає планування у загальноприйнятому вигляді, оскільки ремонт локомотива проводиться після відмови. На сьогоднішній день вважається, що такий підхід до ремонту в основному стосується дешевого допоміжного обладнання за наявності його резервування на складі, коли заміна обладнання дешевша, ніж витрати на його ремонт та обслуговування, також необхідно врахувати затрати на зберігання [1].

Використання цієї системи має враховувати доцільність такого способу для кожного вузла та наявність резервування кожного із них на локомотиві та тяжкість можливих втрат, викликаних відмовою вузла. Однак більшість існуючих систем утримання насправді частково використовують цей підхід, оскільки в цих системах існує поняття «неплановий ремонт». Неплановий ремонт - це ремонт, що виник у наслідок непередбаченої відмови, тобто фактично це помилка системи утримання локомотивів [1].

Система ремонту за відмовою може бути перспективною у майбутньому для локомотивів, обладнаних бортовими системами діагностування. Таке рішення підтримують і зарубіжних країнах.

1.1.2 Планово попереджувальна систем

Широко поширеною на території країн колишнього СРСР, і не лише, є планово-попереджувальна система ремонту локомотивів (ППР). Вперше система ППР на залізницях СРСР була розроблена та введена у 1937 році. Надалі система неодноразово коригувалася та удосконалювалася що робило її ще більш надійною [1]. Схема організації ремонту локомотивів під час використання ППР наведено на рисунку 1.2. При використанні системи ППР ремонт проводиться з метою попередження відмов та забезпечення показників

					0032.175383.000.04MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

якості, передбачених у нормативній документації, що гарантувало безпеку як для працівників, так і для довкілля.

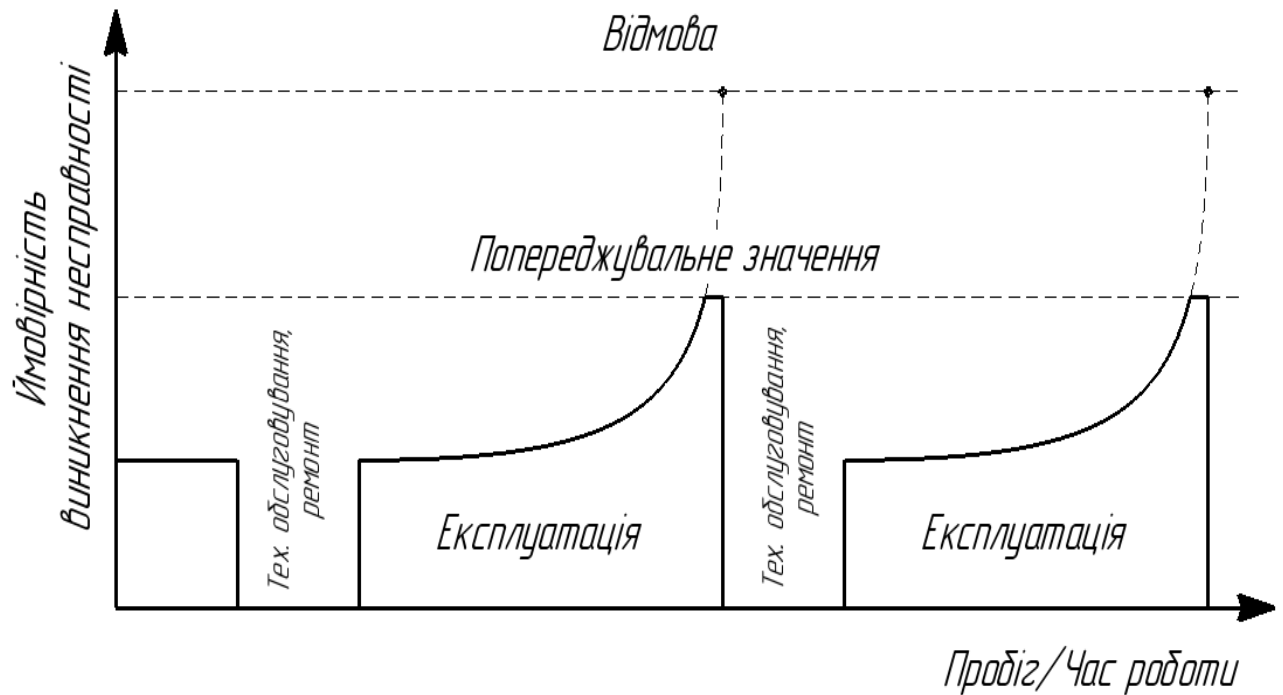


Рисунок 1.2 - Схема організації ремонту локомотивів під час використання планово-попереджувальної системи ремонту

Перевагою системи ППР можна вважати простоту планування та організації роботи ремонтних служб; забезпечення високого рівня надійності обладнання. Така система вимагає значних витрат часу та ресурсів на збір інформації про пробіги, реальні причини відмов різних систем та вузлів, вартість ремонтів і багато іншого, більшість з цих операцій можуть бути автоматизовані [1].

Навіть така система ремонту має ряд недоліків. Недоліками системи ППР є наступне:

- значний обсяг регламентних робіт виконується без фактичної технічної необхідності (в формі запобіжного заходу);

— нормативний перелік регламентних робіт не залежить від технічного стану конкретного локомотива;

— має місце порушення місця притирання вузлів та механізмів після їх профілактичного розбору, що призводить до зниження надійності і подальших відмов.

У цілому система ППР забезпечує заданий рівень надійності з допомогою великих економічних витрат, при цьому всьому існує можливість появи «непланових ремонтів».

Прагнучи скоротити свої витрати на обслуговування та ремонт локомотивів при використанні ППР транспортні компанії збільшують періоди між відповідними видами обслуговування та ремонту не розуміючи всю важкість наслідків. Таке збільшення не завжди виправдане з технічної та економічної точок зору. Зменшивши витрати на планові ремонти, компанії збільшують свої витрати на усунення наслідків непланових ремонтів, що може сягати ще більших витрат в цілому.

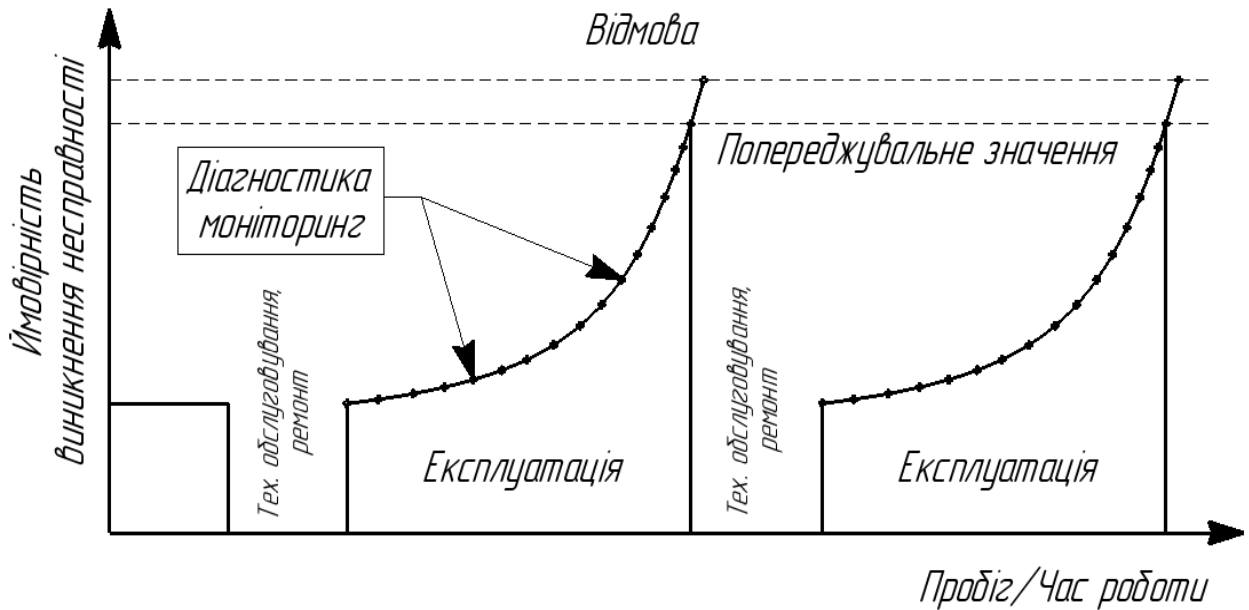
1.1.3 Система ремонту за фактичним станом

Система ремонту за фактичним станом передбачає проведення технічного обслуговування лише тоді, коли це необхідно й у тому обсязі, що потребує технічний стан вузла. Так як при такому обслуговуванні виконуються ті роботи, які обумовлені технічним станом вузлів, та при цьому не порушується притирання справних вузлів внаслідок втручання ремонтного персоналу що подовжує його роботу [1].

Критерієм постановки локомотива на ремонт є висока ймовірність відмови обладнання. При обслуговуванні за цим методом стан рухомого складу контролюється або періодично, або залежно від результатів діагностування та прогнозу технічного стану. Схема організації ремонту

					0032.175383.000.04MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

локомотивів під час використання системи ремонту за фактичним станом наведено рисунку 1.3.



Рисунку 1.3 - Схема організації ремонту локомотивів під час використання системи ремонту за фактичним станом

Перевагою системи є виключення регламентних робіт, що виконуються для запобігання виникненню відмови, що призводить до скорочення вартості ремонтного циклу. Недоліком такої системи обслуговування на сьогоднішній день відсутність можливість визначення залишкового ресурсу всіх без винятку вузлів локомотива. Крім того, окремим завданням є організація постановки локомотивів на ремонт, так як для кожного вузла або групи обладнання визначається свій міжремонтний пробіг. Внаслідок цього виникає завдання вибору критерію планування ремонтів локомотива. Міжремонтний пробіг повинен бути таким, щоб час експлуатації локомотива між ремонтами був більшим за час мінімального пробігу локомотива з поїздом. При цьому всьому очевидно, що час знаходження локомотива в ремонті та очікуванні ремонту по всіх вузлах повинно бути меншим за час перебування його в експлуатації. Для

сучасного рівня розвитку засобів та методів технічного діагностування локомотивів ремонт за фактичним станом є технічно складно реалізованим та потребує розробки достатньої теоретичної бази [1].

Обов'язковим елементом розробки системи ремонту за фактичним станом локомотива є інформаційні системи підтримки технічного обслуговування і ремонту [1]. Подібна система є базою знань, яка базується на основі інформації про стан вузлів та деталей локомотивів у реальному масштабі часу. Великі світові залізничні компанії активно розробляють, впроваджують, модифікують та використовують подібні системи з метою забезпечення максимального рівня достовірності інформації про стан локомотивів безпосередньо в експлуатації.

1.1.4 Комбінована система обслуговування та ремонту

Як перехідний варіант при впровадженні систем утримання для рухомого складу, може бути комбінована система обслуговування та ремонту рухомого складу. Така методика використання може кардинально покращити і подовжити роботу рухомого складу. Комбінована система передбачає одночасне використання кількох підходів щодо вибору міжремонтних періодів. Наприклад: ППР та за технічним станом; ППР та за відмовою; за технічним станом і за відмовою, і таке інше [1].

					0032.175383.000.04MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

1.2. Огляд підходів до побудови систем утримання транспортних засобів

1.2.1 Загальне продуктивне технічне обслуговування

TPM (Total Productive Maintenance) або загальне продуктивне технічне обслуговування — це процес використання машин, обладнання, працівників і допоміжних процесів для підтримки та покращення цілісності виробництва та якості систем. Простіше кажучи, це процес залучення працівників до обслуговування власного обладнання, наголошуючи на методах профілактичного обслуговування.

Концепція розроблена в Японії наприкінці 60 - початку 70-х років у фірмі "Ніппон Денсо", що є постачальником електроустаткування для корпорації Toyota [9].

TPM є одним із інструментів бережливого виробництва і являє собою концепцію менеджменту виробничого обладнання, націлену на підвищення ефективності технічного обслуговування [8].

Метою цієї концепції є повне усунення всіх витрат, пов'язаних з виходом обладнання з ладу, часом його переналагодження і налаштування, усуненням відмов, зниженням продуктивності, комплектуючі з дефектом [8].

Ідеальна продуктивність базується на трьох умовах системи (TPM):

- нещасних випадків;
- несправності обладнання;
- проблем з якістю;
- несвоєчасних поставок.

Велика ідея цієї системи направлена на залучення операторів до обслуговування власного обладнання та акцентування уваги на профілактичному обслуговуванні, що закладуть основу для покращення виробництва. Результатом впровадження методології стане менша кількість

					<i>0032.175383.000.04MP.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

поломок, зупинок і дефектів, більш дбайливе ставлення до обладнання, краще взаєморозуміння персоналу.

Базові операції з технічного обслуговування, такі як очищення, змащування, щоденний технічний огляд, стандартизуються і позиціонуються до обов'язків операторів. Ця система стирає різницю між ролями виробництва та технічного обслуговування, роблячи сильний акцент на розширенні можливостей операторів, щоб допомогти підтримувати своє обладнання в належному стані та готовим до використання [8]. Таким чином, співробітники служби головного механіка звільняються від рутинних операцій і можуть бути більш ефективними і результативними на операціях, що вимагають їх високих компетенцій.

Впровадження програми TPM створює спільну відповідальність за обладнання, що заохочує більшу залученість працівників підприємства. У правильному середовищі це може бути дуже ефективним для підвищення продуктивності, а саме: збільшення часу роботи, скорочення тривалості простою та усунення дефектів.

Головною особливістю системи є те, що вона базується на восьми головних принципах (їх ще називають стовпами TPM) [9], які є основою для ефективного та успішного впровадження даної методології. Здебільшого вони зосереджені на профілактичних методах, які допоможуть підвищити надійність обладнання. Складові системи TPM показані на рисунку 1.4.

					0032.175383.000.04MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

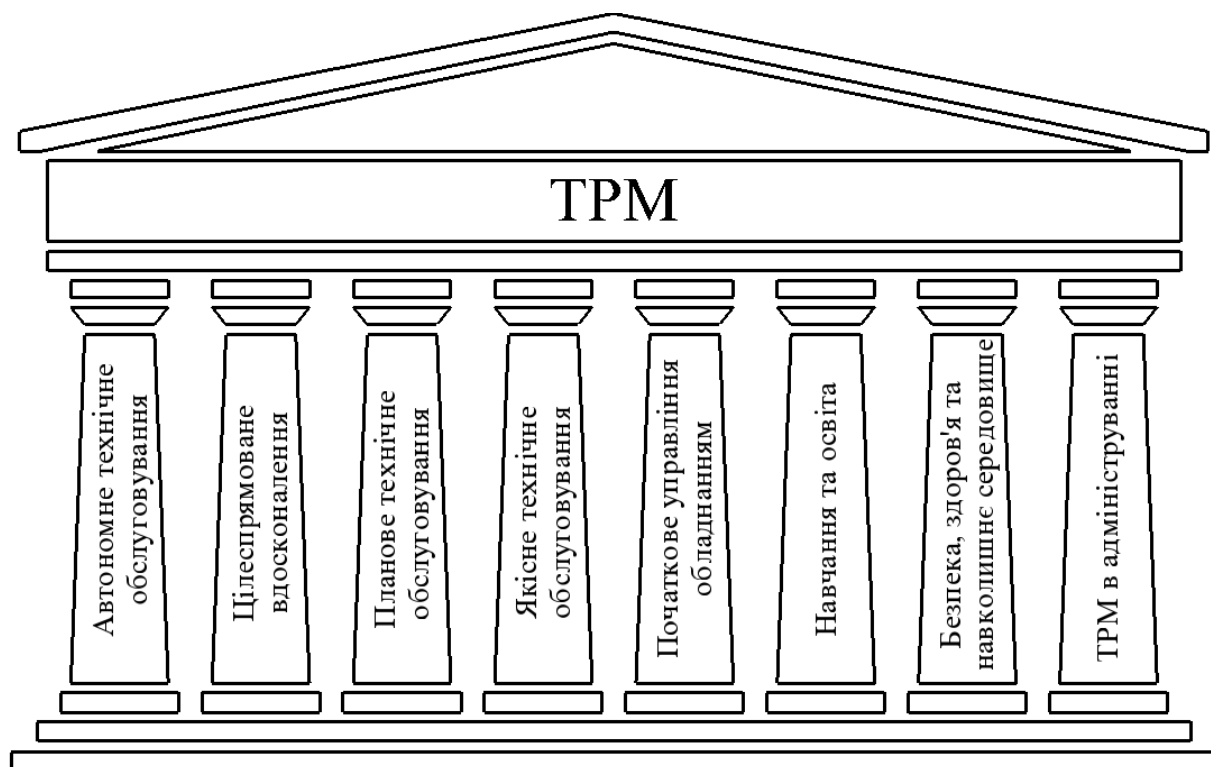


Рисунок 1.4 - Складові системи TPM

Автономне технічне обслуговування означає, що ваші оператори повністю навчені рутинному техобслуговуванню, такому як очищення, змащування та перевірка, а також покладання цієї відповідальності виключно на них [10].. Це покращує їхні знання про конкретні частини та вузли, що гарантує завжди чисте та змащене обладнання, допомагає виявляти проблеми до того, як вони перетворяться на функціональну відмову, і звільняє обслуговуючий персонал для виконання завдань вищого рівня.

Цілеспрямоване вдосконалення базується на японському терміні «кайдзен», що означає «покращення». У виробництві кайдзен вимагає постійного вдосконалення функцій і процесів [10].

Цілеспрямоване вдосконалення розглядає процес у цілому та обдумує ідеї щодо його покращення. Ключовим для TPM є формування невеликих команд мислення про активну спільну роботу для впровадження регулярних поступових покращень процесів, пов'язаних з роботою обладнання.

Крім того, цілеспрямоване вдосконалення підвищує ефективність шляхом зменшення кількості дефектів продукту та кількості процесів, підвищуючи безпеку шляхом аналізу ризиків кожної окремої дії [10].

Планове технічне обслуговування передбачає вивчення таких показників, як частота відмов і час простою, а потім планування завдань з обслуговування на основі цих прогнозованих або вимірних показників відмов або періодів простою [10]. Іншими словами, оскільки існує певний час для виконання технічного обслуговування обладнання, ви можете запланувати технічне обслуговування приблизно на час, коли обладнання простоює або працює на низькій потужності, рідше перериваючи виробництво.

Застосування такого підходу значно зменшує кількість незапланованих простоїв, дозволяючи планувати більшість технічного обслуговування на час, коли обладнання не заплановано до виробництва. Це також дозволяє вам більш ретельно планувати запаси, надаючи вам можливість краще контролювати деталі, які схильні до зносу та поломок.

Якісне технічне обслуговування це стовп підтримки якості зосереджується на виявленні та запобіганні помилок у виробничому процесі. Це робиться за допомогою аналізу першопричин для виявлення та усунення повторюваних джерел дефектів продукції. Завчасно виявляючи джерело помилок або дефектів, процеси стають більш надійними, виробляючи продукти з вірними заданими параметрами з першого разу, що запобігає переміщенню дефектних продуктів по лінії які можуть призвести до великої кількості повторних робіт [10].

Початкове управління обладнанням. Стовп ТРМ який бере практичні знання та загальне розуміння виробничого обладнання, отримані шляхом повного продуктивного обслуговування, і використовує їх для вдосконалення нового обладнання. Розробка обладнання за участю людей, які його постійно використовують та обслуговують, дозволяє постачальникам покращити ремонтпридатність і скорегувати його в майбутніх конструкціях [10].

					0032.175383.000.04MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

Обговорюючи модифікацію обладнання, важливо говорити про такі речі, як легкість очищення та змащування, доступність частин, ергономічне розміщення елементів керування таким чином, щоб було зручним для керування. Застосування такого підходу ще більше підвищує ефективність, оскільки нове обладнання вже відповідає необхідним специфікаціям.

Навчання та освіта стосуються операторів, менеджерів і обслуговуючого персоналу. Вони призначені для того, щоб усі були на одній хвилі з процесом ТРМ і усунули будь-які прогалини в знаннях, щоб цілі ТРМ були досяжними [10]. Тут оператори навчаються навикам профілактичного обслуговування обладнання та виявлення нових проблем. Команда технічного обслуговування вчиться впроваджувати план профілактичного технічного обслуговування, а менеджери добре знайомляться з принципами ТРМ, підвищення кваліфікації та навчання співробітників.

Безпека, здоров'я та навколишнє середовище. Підтримка безпечного робочого середовища означає, що працівники можуть виконувати свої завдання в безпечному місці без ризику для здоров'я. Важливо створити середовище, яке зробить виробництво ефективнішим, але воно не повинно становити загрозу безпеці та здоров'ю працівників [10]. Розгляд безпеки має бути особливо поширеним на ранній стадії управління обладнанням процесу ТРМ.

ТРМ в адмініструванні. Загальне продуктивне технічне обслуговування має виходити за межі виробництва, вирішуючи та усуваючи зони відходів у адміністративних функціях. Це означає підтримку виробництва шляхом вдосконалення таких речей, як обробка замовлень, закупівлі та планування [10].

Переваги ТРМ. Головною перевагою повного продуктивного обслуговування є вісім принципів які допоможуть підвищити надійність обладнання. Більш надійне обладнання веде до більш надійної, безперебійної

					0032.175383.000.04MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

роботи, меншої кількості простоїв і як висновок до більшої задоволеності клієнтів.

Вагомим плюсом також є залучення операторів обладнання до його обслуговування, таким чином персонал буде краще розуміти як воно працює. Відповідальність допомагає створити більш дбайливе ставлення до активу та до його обслуговування. Постійне навчання співробітників новому допомагає тримати у тонусі їхні знання та сприяє до кращого вирішення поставлених завдань.

1.2.2 Підхід Six Sigma

6 сигм (six sigma) – один із методів управління процесами, заснований на проведенні статистичної оцінки фактів, даних процесу, систематичному пошуку та розробці заходів щодо підвищення рівня виходу придатної продукції, їх послідовного впровадження та подальшого аналізу безпомилковості процесів для збільшення задоволеності клієнтів [13].

Ця концепція була розроблена у 1980-х роках компанією Motorola з метою зниження відхилень у процесах виробництва електронних компонентів. Набув широкої популярності в середині 1990-х після впровадження його як ключової стратегії Джеком Уелчом у корпорації General Electric [13]. Назва походить від статистичного поняття середньоквадратичного відхилення, яке позначається грецькою буквою σ .

Термін 6 сигм, який використовується в назві концепції, означає стандартне відхилення випадкової величини середнього значення. Цей термін застосовується у математичній статистиці [14].

Рівень безпомилковості виробничого процесу у цьому методі визначається за кількістю σ , яке є питомою вагою бездефектної продукції у відсотках на виході процесу. Сам процес з якістю 6σ на виході характеризує 99,99% випадків без дефектів, або не більше 3,4 дефектів на 1 млн операцій. У

					<i>0032.175383.000.04MP.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		17

корпорації Motorola досягнення показника якості 6σ для всіх виробничих процесів визначено як мету, звідси й пішло найменування концепції

Як правило, у більшості процесів на підприємствах рівень дефектів знаходиться в рамках сигма-аналізу між трьома і чотирма σ . Це означає, що вихід придатної продукції лежить між 93,3 та 99,4%. При чотирьох сигмах частота дефектів дорівнює 6210 випадків на мільйон. Ніхто не був би задоволений, якби він належав до 6210 клієнтів, які є жертвою дефектного товару чи процесу [13]. Тим самим метод шість сигм надає можливість поряд із підвищенням продуктивності також збільшувати задоволення клієнта.

Six Sigma являє собою послідовний, вивірений на потреби клієнта методо поліпшення процесів виробництва, що базується на фактах методом поліпшення процесів [13]. Принципова схема роботи методу представлена на. Рисунок 1.5.

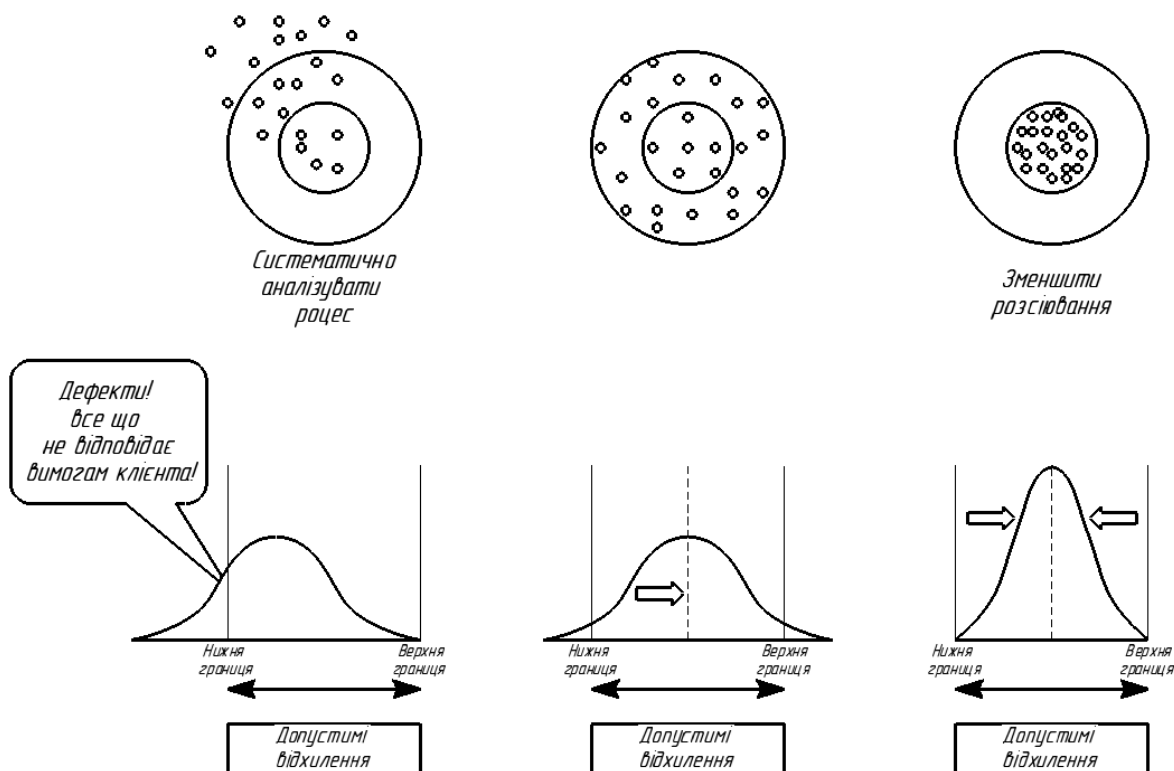


Рисунок 1.5. - Принципова схема роботи методу Six Sigma спрямований на зменшення браку продукції.

Основна ідея управління на основі шести сигм полягає в тому, що якщо можливо виміряти кількість дефектів процесу, то можна визначити способи, що дозволяють усунути дефекти, а значить, вийти на рівень якості з практично нульовим браком.

Ключовим компонентом успішного впровадження Six Sigma є зацікавленість і підтримка з боку керівників. Методологія не працює, якщо вся організація не надає повної підтримки.

Іншим важливим фактором є навчання персоналу на всіх рівнях організації. Цікавою особливістю даної методології є створення спеціальної системи присвоєння звань спеціалістам у вигляді так званих поясів, що діляться на білі, жовті, зелені, чорні та на майстрів чорних поясів. Білі пояси та жовті пояси зазвичай отримують вступ до теорій вдосконалення процесів і термінології Шість Сигм. Зелені пояси зазвичай працюють із чорними поясами над проектами, допомагаючи зі збором та аналізом даних. Чорні пояси керують проектами, а майстри чорних поясів шукають шляхи застосування Шість Сигм в усій організації [15].

Існує дві основні методології, які використовуються в рамках Six Sigma, обидві з яких складаються з п'яти розділів.

DMAIC : метод DMAIC використовується в основному для вдосконалення існуючих бізнес-процесів. Букви означають:

- Визначте проблему та цілі проекту;
- Детально виміряйте різні аспекти поточного процесу;
- Аналізуйте дані, щоб, серед іншого, знайти корінні дефекти процесу;
- Я вдосконалюю процес;
- Контролюйте, як процес виконується в майбутньому .

DMADV: метод DMADV зазвичай використовується для створення нових процесів і нових продуктів або послуг. Букви означають:

- Визначте цілі проекту;

					<i>0032.175383.000.04MP.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

- Вимірювання критичних компонентів процесу та можливостей продукту;
- Аналізуйте дані та розробляйте різні проекти для процесу, зрештою вибираючи найкращий;
- Деталі розробки та тестування процесу;
- Перевірте дизайн, запустивши моделювання та пілотну програму, а потім передайте процес клієнту [15].

1.2.3 Методологія RBM

Технічне обслуговування на основі ризиків (RbM) — це добре відома методологія технічного обслуговування, яка використовує принципи оцінки ризиків для визначення пріоритетів робіт з технічного обслуговування та оптимізації розподілу ресурсів технічного обслуговування [11]. Цей тип обслуговування призначений для визначення найбільш економічного способу розподілу ресурсів компанії, щоб відремонтувати актив або мінімізувати ризик. А результати технічного обслуговування з урахуванням ризиків захищають навколишнє середовище, працівників, активи та компанію в цілому.

Застосування принципів управління ризиками виконується з використанням матриці ризиків, яка оцінює вплив завдання технічного обслуговування на наступне:

- ймовірність відмови обладнання;
- наслідки (ризик) відмови обладнання.

Впровадження системи RBM вимагає запису історії відмов обладнання та технічного обслуговування для визначення їх поточного стану. Зібрані дані в подальшому використовують для аналізу ризиків, коли їх додають до історії обладнання чи системи.

					<i>0032.175383.000.04MP.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

За рахунок впровадження RBM стає можливим розстановка пріоритетів при плануванні програм перевірок при проведенні технічного обслуговування, що дозволяє проводити сконцентровані, цілеспрямовані перевірки тих частин обладнання, вузлів та конструкцій, які дійсно потребують технічного обслуговування [12]. Загальну схему головних процедур RBM можна побачити на Рисунку 1.6.

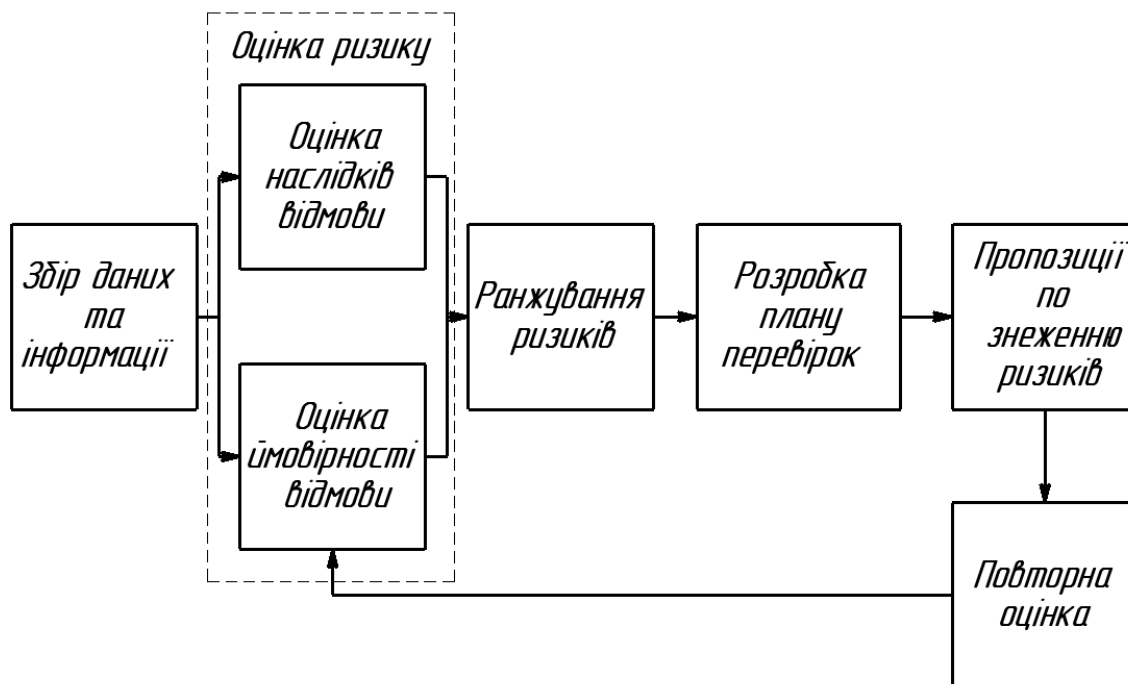


Рисунок 1.6. - Загальні процедури RBM

При плануванні технічного обслуговування необхідно визначити такі елементи, як межі перевірки, ступінь (глибина) перевірки, частота перевірки, зона (область) перевірки. У методиці технічного обслуговування з урахуванням ризику сам ризик приймається як показник уточнення пріоритету. Цей ризик може бути представлений у вигляді добутку ймовірності відмови, що виникає в зоні перевірки, та наслідків відмови для всього оточення [12]. На рисунку 1.7 показано концепцію розподілу ризику, якому піддаються пристрої у системі.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

0032.175383.000.04MP.ПЗ

Арк.

21

Відносний ризик

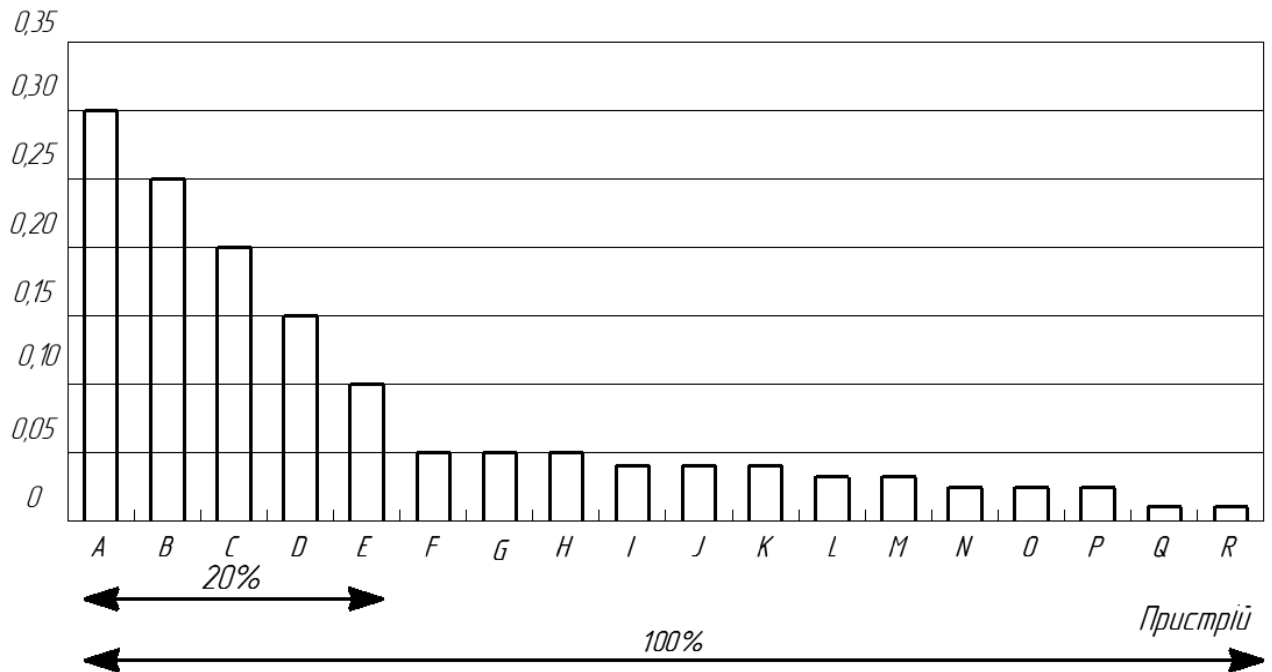


Рисунок 1.7. - Концептуальне подання розподілу ризику у системі

Символи від А до S на горизонтальній осі означають пристрої в системі, а по вертикальній осі відкладається відносний ризик, якому піддається кожен пристрій. На графіку ми можемо побачити, що загальний ризик системи зосереджено на 20% пристроїв. У цьому випадку було б нераціонально перевіряти усі пристрої з однаковим рівнем пріоритету. Тому важливо виявити 20% пристроїв та підвищити рівень їхнього пріоритету в програмі перевірки. Це основна концепція методики технічного обслуговування з урахуванням ризику. Насамперед, збираються всі дані, необхідні Для оцінки [12]. На основі даних виконується оцінка ризику кожної частини конструкції або устаткування. Потім ризик оцінюється (обчислюється) як добуток наслідків відмови та його ймовірності. На основі результатів оцінки ризику приймається рішення щодо пріоритетів перевірок. За підсумками цього рішення

створюється план перевірок. В результаті вказується та робиться пропозиція, як знизити ризики.

Технічне обслуговування на основі оцінки ризику працює за таким принципом, згідно з яким пріоритет направлений на технічне обслуговування яке спрямоване на активи, які несуть найбільший ризик у разі виходу його з ладу [11]. Тобто активи, які можуть мати високий ризик відмови та як наслідок матимуть великі збитки для компанії будуть першочерговими в технічному обслуговуванні.

Використання методу обслуговування, заснованого на ризиках, також може підвищити безпеку обладнання, і поломки будуть відбуватися рідше. Метою RbM є продовження життєвого циклу активів. З меншою кількістю поломок обладнання технічне обслуговування, орієнтоване на ризики, також може покращити репутацію організацій, оскільки зменшуються проблеми з ланцюгом задоволеності потенційних клієнтів [11].

Переваги технічного обслуговування з урахуванням ризиків.

Якщо організація та її інфраструктура покладаються на дороге обладнання для виконання виробничої роботи, застосування концепцій RbM, заснованих на оцінці ризику, добре працюватиме в рамках плану технічного обслуговування. Якщо менеджери з технічного обслуговування ще не знайомі зі складанням плану профілактичного технічного обслуговування, розробка та застосування методології технічного обслуговування на основі оцінки ризиків може стати основою для створення більш надійної програми технічного обслуговування. Нарешті, якщо у вас обмежені ресурси для роботи, RbM може стати гарним способом рівномірного розподілу робіт з профілактичного обслуговування

Виконання технічного обслуговування на основі даної методології коштує менше, ніж виконання занадто великої кількості профілактичного технічного обслуговування. RbM також дозволяє більш ефективно розподіляти обмежені ресурси. Технічне обслуговування, орієнтоване на

					0032.175383.000.04MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

ризик, налаштовує команду обслуговування на мислення, згідно з яким вони ретельно обмірковують, який тип технічного обслуговування виконувати та коли, виходячи з критичності активу та серйозності необхідного ремонту. Методологія вимагає майже повного планування в довгостроковій перспективі після встановлення параметрів RbM. Скорочуються непотрібні робочі замовлення, які гальмують програмну систему та графік технічного обслуговування [11].

Недоліки технічного обслуговування з урахуванням ризиків.

Одним з недоліків технічного обслуговування, заснованого на оцінці ризику, є те, що воно потребує значного часу початкового планування. Якщо організації не мають часу та персоналу, щоб присвятити себе створенню системи обслуговування, цей метод не буде успішним.

Іншим недоліком є те, що оцінку ризику активів потрібно буде періодично оновлювати. Наприклад, коли актив старіє, ризики, пов'язані з поломкою, зростають. Якщо ця інформація не оновлюється регулярно, організації ризикують зіткнутися з неочікуваними проблемами [11].

1.2.4 RCM - технічне обслуговування, спрямоване на забезпечення надійності

RCM (Reliability-Centered Maintenance) – це технічне обслуговування, спрямоване на забезпечення надійності обладнання. Методологія, яка дозволяє підприємству оптимізувати програму обслуговування та ремонту активів вона завжди намагається продовжити термін служби обладнання та зменшити час простою, у найефективніший спосіб [16].

Метою технічного обслуговування є виявлення та попередження конкретних (відомих чи прогнозованих) видів функціональних відмов виробу, системи чи іншого технічного об'єкта.

					0032.175383.000.04MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

Методологія RCM бере свій початок у розробці авіаційної програми технічного обслуговування нового покоління літаків перед введенням їх в експлуатацію. У результаті були розроблені оптимальні методи розробки програм технічного обслуговування та ремонту нових активів, особливо інтегрованого обладнання, щодо якого ще немає даних.

Методологія RCM приділяє постійну увагу діяльності з технічного обслуговування, яка має великий вплив на продуктивність. Все, що витрачається на обслуговування, витрачається на якісне та продуктивне виробництво.

При впровадженні методології значне увагу приділяють підвищенню мотивації співробітників, особливо тих, хто залучений до процесу аналізу RCM. Це призводить до значного покращення загального розуміння роботи обладнання у виробничому контексті разом із більш глибоким ступенем участі у вирішенні проблем технічного обслуговування.

Методологія дає доволі швидкі результати. Якщо правильно розставити пріоритети та правильним чином провести аналіз RCM, то все може окупитися за лічені місяці. Результати аналізу перетворюються в точні вимоги до утримання виробничих фондів, які використовуються організацією, і в умовах, в яких буде працювати група підтримки. В результаті технічне обслуговування стає більш економічно ефективним, добре скоординованим і успішним [16].

Технічне обслуговування, орієнтоване надійність, - це інженерна структура, що дозволяє визначити повний режим технічного обслуговування. Вона розглядає технічне обслуговування як засіб підтримки функцій, які можуть знадобитися користувачеві від обладнання у певному робочому контексті, також дозволяє зацікавленим сторонам у машинобудуванні контролювати, оцінювати, прогнозувати та загалом розуміти роботу своїх фізичних активів. Це втілено в початковій частині процесу RCM, яка полягає у визначенні робочого контексту обладнання та написанні аналізу наслідків та критичності режиму відмови (FMEA). Друга частина аналізу полягає у

					0032.175383.000.04MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

застосуванні «логіки RCM», яка допомагає визначити відповідні завдання обслуговування для ідентифікованих режимів відмови, що допоможе в подальшому виявляти їх на стадії зародження та розуміти який конкретний стан має актив.

RCM визначає, що всі активи об'єкта не однаково важливі як з точки зору безпеки, так і з точки зору процесу, тому більша увага приділяється тільки тим вузлам які цього потребують. Структура прийняття рішень спрямована на найкраще узгодження потреб обладнання з наявними ресурсами для економічно ефективної надійності.

Успішне впровадження RCM приносить користь організаціям. Ця структура усуває здогадки щодо визначення пріоритетів обслуговування та допомагає організаціям підтримувати активи послідовним, структурованим та економічно ефективним способом.

Оскільки RCM значною мірою покладається на технології прогнозного технічного обслуговування це дозволяє керівництву та персоналу більш краще та точніше узгоджувати ті ресурси які потребує обладнання, одночасно підвищуючи надійність і знижуючи витрати — більше, ніж будь-яка окрема стратегія.

Переваги технічного обслуговування, орієнтованого на надійність.

Економічна ефективність яка допомагає зменшити витрати, зводячи до мінімуму непотрібне планове обслуговування.

Краща командна робота. Використання групового підходу до завдань технічного обслуговування. Комунікація та співпраця між відділами та командами покращуються, коли кожен залучений до аналізу проблем і прийняття рішень.

Покращена продуктивність активів. Це усуває непотрібний капітальний ремонт активу, що як наслідок зменшує простої. RCM також допомагає швидше діагностувати несправність завдяки базі з режимами відмов.

					0032.175383.000.04MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

Покращена мотивація співробітників. Коли співробітники залучаються до застосування RCM, вони краще розуміють активи в контексті своєї діяльності та діяльності активу загалом. Це мотивує їх взяти на себе відповідальність за проблеми технічного обслуговування та прийняті рішення в їх вирішенні [16].

Краща безпека та екологічність. Так як головною метою методології є робота без травматизму та наслідків для екології RCM прагне зрозуміти наслідки кожного режиму відмови та вживає всі можливі профілактичних заходів для їх запобігання. Окрім обмеження відмов, процес встановлення пріоритетів технічного обслуговування сприяє наявності необхідних захисних пристроїв.

Недоліки RCM.

Початкові витрати на впровадження методології є доволі високими. Виконання аналізу RCM вимагає від команд витрати значного часу, фінансів і ресурсів, щоб розпочати роботу. RCM може бути повільнішим, ніж керівники хочуть, так як вимагають багато часу на формулювання ефективної системи використання і обслуговування активів.

Висновок: Проаналізувавши різні системи використання та обслуговування активів я можу зробити такий висновок. З моєї точки зору найбільш доцільною системою для удосконалення системи утримання локомотивів є методологія RCM. Так як вона в більшій мірі увібрала багато методів для ефективного обслуговування з вище вказаних систем та добре підходить для удосконалення системи утримання локомотивного парку.

Надалі я використаю технічне обслуговування орієнтоване на надійність (RCM) на прикладі колісної пари локомотива для створення системи ефективного обслуговування та визначення повного залишкового ресурсу вузла.

					0032.175383.000.04MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

2. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА МЕТОДОЛОГІЇ RCM

За кількома винятками, профілактичне технічне обслуговування вважається найдосконалішою та найефективнішою технікою техобслуговування, доступною для використання промисловими організаціями та організаціями з обслуговування об'єктів.

Програма превентивного технічного обслуговування базується на припущенні про фундаментальний причинно-наслідковий зв'язок між запланованим техобслуговуванням і експлуатаційною надійністю. Це припущення ґрунтувалося на інтуїтивному переконанні, що оскільки механічні частини зношуються, надійність будь-якого обладнання є безпосередньо пов'язаним із експлуатаційним віком. Отже, чим частіше проводився капітальний ремонт обладнання, тим краще воно було захищене від ймовірності поломки. Єдина проблема полягала у визначенні вікової межі, необхідної для забезпечення надійної роботи [2].

Команди, які впроваджують RCM, використовують планування технічного обслуговування, моніторинг стану активів, прогнозне та профілактичне обслуговування, щоб уникнути виходу з ладу дорогого обладнання.

Існує кілька способів проведення та реалізації програми RCM. Програма може базуватися на ретельному аналізі режимів і наслідків відмови (FMEA) разом із математично обчисленими ймовірностями відмови на основі проектних або історичних даних, інтуїції чи здорового глузду або експериментальних даних і моделювання.

RCM орієнтований на надійність. Тобто технічне обслуговування, орієнтоване або засноване на надійності установки та всіх її компонентів. Використання надійності як основної рушійної сили цієї стратегії технічного обслуговування все частіше використовується через її переваги, які стають

					0032.175383.000.04MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

цьому випадку електродвигун, що постачає механічну енергію, розглядатиметься як частина іншої системи [17].

Крок 3: Визначте способи, якими система може вийти з ладу (режими збоїв)

На кроці 3 мета полягає в тому, щоб перерахувати всі способи, через які функція системи може вийти з ладу [17]. Наприклад, конвеєрна стрічка може вийти з ладу через те, що вона не зможе транспортувати товари з одного кінця до іншого, або, можливо, вона не транспортує товари достатньо швидко.

Крок 4: Визначте основні причини режимів збою

За допомогою операторів, досвідчених техніків, експертів RCM і експертів з обладнання можна визначити основні причини кожного з режимів відмови. Основними причинами несправності конвеєра можуть бути відсутність мастила на роликах, несправність підшипника або ослаблений ремінь [17].

Крок 5: Оцініть наслідки невдачі

На цьому кроці розглядаються наслідки кожного режиму відмови. Несправність обладнання може вплинути на безпеку, роботу та інше обладнання [17]. Також можна розглянути критичність кожного з цих режимів відмови.

Крок 6: Виберіть тактику обслуговування для кожного режиму відмови

На цьому кроці визначається найбільш відповідна тактика технічного обслуговування для кожного режиму відмови [17]. Обрана тактика технічного обслуговування повинна бути технічно та економічно доцільною.

Крок 7: Запровадьте, а потім регулярно переглядайте обрану тактику обслуговування [17].

Також досить важливо відзначити, що методологія RCM буде корисною лише в тому випадку, якщо її рекомендації щодо технічного обслуговування будуть застосовані на практиці. Коли це буде зроблено, важливо, щоб

					0032.175383.000.04MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

рекомендації постійно переглядалися та оновлювалися в міру появи додаткової інформації.

Оскільки кінцевим результатом добре виконаного аналізу RCM є вибір відповідної стратегії технічного обслуговування для кожної частини обладнання, результатом є загальне підвищення надійності. RCM має на меті скоротити витрати, підвищити безпеку та усунути завдання технічного обслуговування, які неефективні або невідповідні для певної частини техніки. Впровадження процесів RCM дозволяє уникнути універсального мислення, яке може втрачати дорогоцінний час і ресурси [17].

2.1 Root Cause Analysis - аналіз першопричин

Аналіз першопричин або аналіз корінних причин (Root Cause Analysis) — це покроковий процес що призначений для визначення головної причини проблеми або події і плану дій по їх вирішенню та реакції на них.

Фокусування на корекції першопричини має на меті повністю запобігати повторенню проблем. Більшість організацій мають тенденцію фокусуватися на одному факторі або виділяють конкретно при спробі визначити першопричину, що призводить тільки до неповного вирішення. Аналіз першопричин допомагає уникнути ці тенденції і розглядає всю проблему повністю. Інший момент – організації займаються лікуванням симптомів, а не фактичних проблем, що призводить до повторних проблем.

Проведення аналізу корінних причин схоже з роботою лікаря, який лікує пацієнта. Лікар спочатку зрозуміє симптоми. Потім він звернеться до лабораторних досліджень, щоб проаналізувати першопричину захворювання. Якщо першопричина захворювання все ще невідома, лікар направить на подальше сканування, щоб зрозуміти що робити далі. Він буде продовжувати діагностику та вивчати, поки не звузить до основної причини хвороби пацієнта [4].

					0032.175383.000.04MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

Отже, Root Cause Analysis спрямований на пошук першопричини, а не на лікування симптому, дотримуючись певного набору кроків та відповідних інструментів. Це відрізняється від аналізу дефектів, усунення рінесправностей та інших методів вирішення проблем, оскільки ці методи намагаються знайти рішення конкретної проблеми, але RCA намагається знайти корінь, основну причину цієї проблеми [4].

Схематично RCA можна відобразити як дерево, що має листя, стовбур і коріння та є найважливішими його частинами. ми можемо бачити листя (Симптом) і стовбур (Проблема), які знаходяться над землею, але коріння (Причина), які знаходяться під землею, не видно, і коріння ростуть глибше і можуть поширюватися далі більше, ніж ми очікуємо. Це зображено на рисунку 1.1. Саме тому визначення справжньої причини збоїв потребує більш досконалого огляду та аналізу.

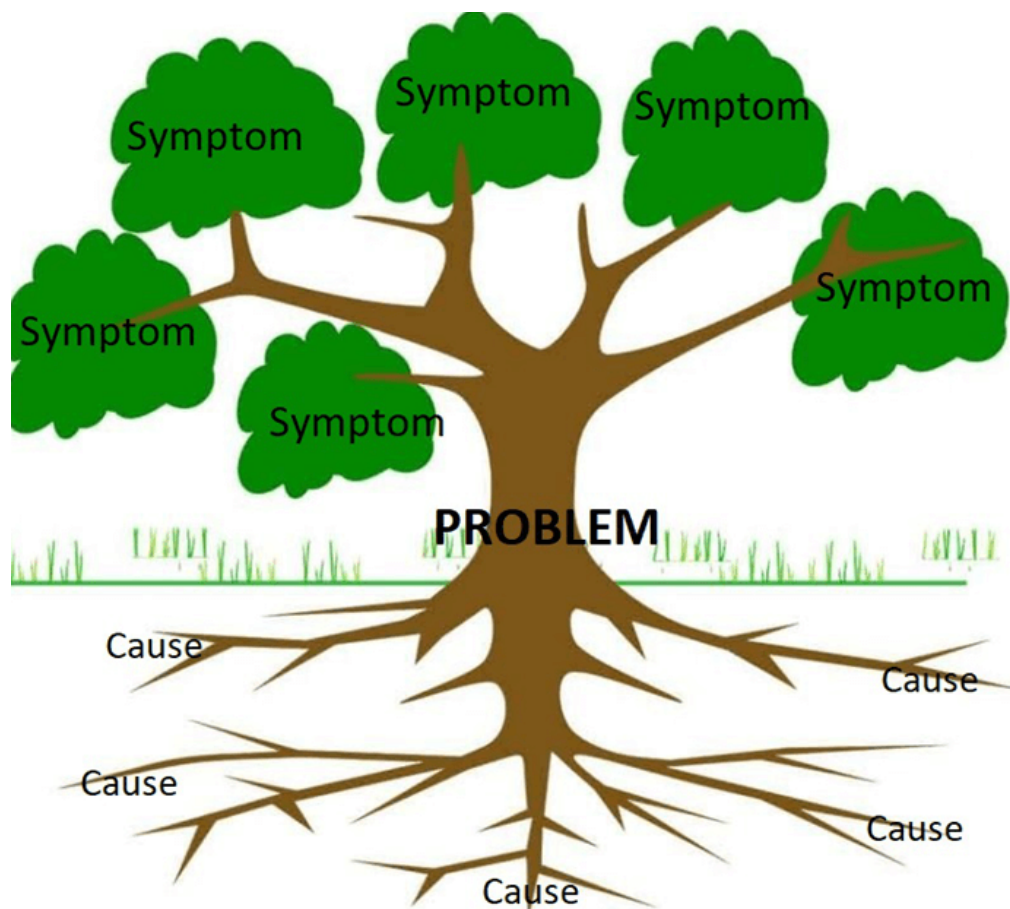


Рисунок 2.1 - Схематичне відображення концепції RCA

Аналіз корінних причин дозволяє відповісти на наступні питання: Що сталося? Як сталося? і Чому сталося? Також формує план дій для усунення проблем. Схематично це показано на рисунку 1.2.

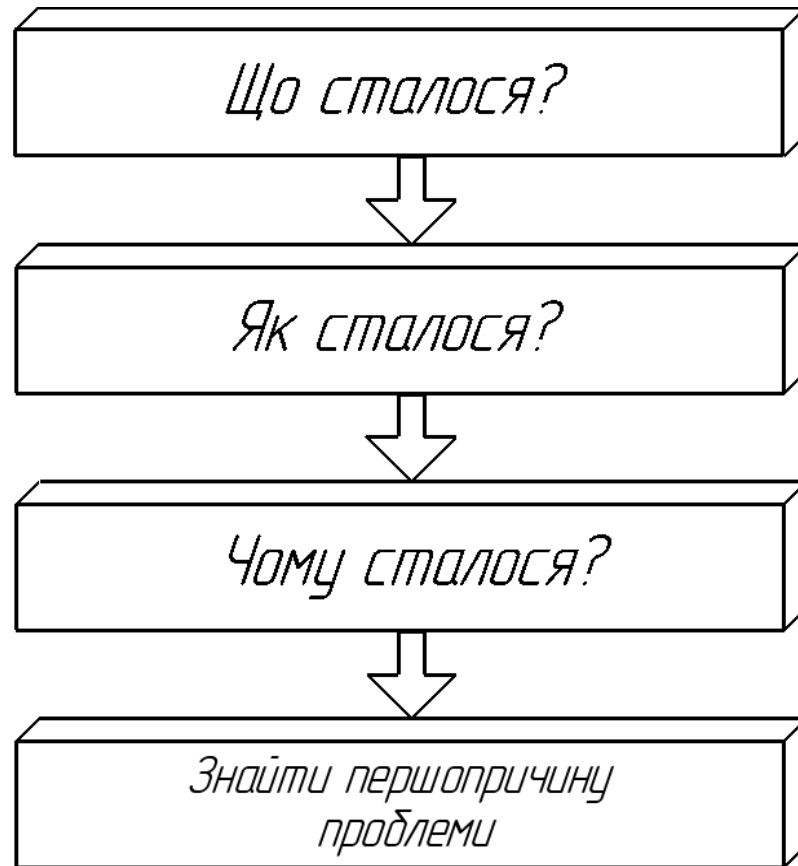


Рисунок 2.2 - Питання на які відповідає аналіз корінних причин

П'яти кроків аналізу першопричин

Залежно від умов і галузі використання процес аналізу корінних причин може відрізнятися. Однак більшість з них використовує один і той же підхід який складається з п'яти кроків.

Перевірка умов. Перш ніж заглибитися у вирішення проблеми, необхідно упевнитися, що впроваджено тимчасову коригувальну дію. Воно буде дійсним, до тих пір, поки не будуть розроблені дії, що впливають на корінні причини. Ці дії дозволяють стримувати поширення проблеми, але не

вирішує її повністю [3]. Також необхідно упевнитися, що стандарт на виконання операції, з якою трапилася проблема, існує, він присутній на робочому місці і зрозумілий всім працівникам.

Збір даних, визначення проблеми. Як детективи ретельно збирають докази з місця злочину, так і ви повинні належним чином зібрати всю необхідну інформацію, перш ніж почати сам аналіз. Збір даних, є найбільш важливим кроком в процесі аналізу першопричин. І до цього кроку рекомендується приступати відразу після виникнення проблеми. У цьому випадку використовується так званий інструмент 5W1H, який відповідає на питання Що сталося, Де сталося, Коли сталося, Хто залучений в проблему, Які тренди спостерігаються, Як поточний стан відрізняється від нормального [3].

Аналіз проблеми. На цьому етапі відбувається аналіз причин проблеми [3]. Після визначення всіх можливих причин проблеми та розподілу їх за категоріями, необхідно виявити найбільш ймовірну і проаналізувати, чи дійсно ця обставина є причиною проблеми яка виникла. Після того як були визначені фактори, що стосуються проблеми, необхідно проаналізувати, чому ця подія відбулася, або, іншими словами, першопричини проблеми. В дію йде методика яка працює наступним чином: спочатку позначається проблема або спостерігаються обставини, потім задається питання «чому», щоб визначити причину виникнення цих обставин, до тих пір, поки не дійдете до першопричини.

План дій. Як тільки команда визначила першопричину несправності, вона повинна розробити відповідні контрзаходи. У плані дій має бути чітко визначено завдання, відповідальний за виконання і терміни. Без цього ваш план дій не матиме руху і дії не виконаються. План дій повинен бути загальнодоступний і статус виконання повинен відслідковуватися на оперативних нарадах [3].

					0032.175383.000.04MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

Стандартизація. Якщо рішення виявилось ефективним, воно має бути прийнято в якості стандарту і застосовуватися постійно. Якщо цього не зробити, рівень продуктивності знизиться до початкового стану [3].

Зрештою, аналіз першопричини зводиться до трьох завдань. Перше, як впливає з назви: з'ясувати першопричину проблеми або події. Друге – полягає в тому, щоб зрозуміти, як виправити, компенсувати або витягти уроки з причин, викликаних корінною причиною. Третя і найважливіша мета – застосувати те, що ви дізналися з аналізу, для запобігання проблем в майбутньому.

Превагами аналізу корінних причин

RCA заощаджує витрати на обслуговування завдяки усуненню першопричини проблеми, а не лише лікуючи симптоми. На жаль, багато організацій вирішують питання надійності активів, постійно атакуючи симптоми на поверхневому рівні, які виникають через несправність обладнання, замість того, щоб підкреслити причину зазначеної несправності. Все це неминуче призводить до постійних невдач, забирає цінний час та ресурси [5].

Постійно повторюваний збій є серйозним гальмом для загальної ефективності будь-якої організації. Аналіз першопричини допоможе зменшити витрати на технічне обслуговування, усуваючи хронічні збої. Крім того, RCA можна використовувати після критичної невдачі, щоб знайти причину та запобігти її повторенню. Запобігання серйозним збоям не тільки впливає на дохід, незапланований застій, але також може запобігти травмам і врятувати життя [5].

2.2 FMEA – аналіз причин та наслідків відмов

FMEA (Failure modes and effects analysis) – аналіз причин та наслідків відмов. Метод аналізу, який застосовується в виробництві для визначення

					0032.175383.000.04MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

потенційних дефектів (невідповідностей) та причин їх виникнення у виробі, процесі чи послугі. Він застосовується для виявлення проблем до того, як вони з'являться і вплинуть на обладнання [6]. Іншими словами даний аналіз – це індуктивне міркування єдиного аналізу відмов і є основним завданням у розробці надійності, безпеки та якості.

Аналіз причин та наслідків відмов був розроблений інженерами з надійності наприкінці 1950-х років для вивчення проблем, які можуть виникнути через несправності військових систем. FMEA часто є першим кроком для дослідження надійності системи.

Хотілось би підкреслити універсальність застосування FMEA. Способи аналізу ризиків, запропоновані даною методикою, можуть бути використані в будь-якій сфері діяльності людини, починаючи від виробничих операцій і закінчуючи процесами у сфері послуг, у тому числі некомерційних, таких як соціальне забезпечення та іншими. Іноді FMEA розширюється до FMESA (аналіз режиму відмови, наслідків і критичності), щоб вказати, що також виконується аналіз критичності.

Успішна діяльність FMEA допомагає визначити потенційні режими відмови за допомогою досвіду роботи з подібними продуктами та процесами виробництва або на основі загальної логіки відмови. Він широко використовується в розробці та виробництві на різних етапах життєвого циклу продукції. FMEA можна виконувати на рівні системи, підсистеми, вузла, підвузла або частини.

Аналіз іноді характеризують як такий, що складається з двох піданалізів, перший – аналіз режимів і наслідків відмови (FMEA), а другий – аналіз критичності.

Зараз існує три основні види FMEA, що визначаються за об'єктом аналізу:

– FMEA аналіз технічної системи. Направлений виявлення проблем в основних функціях системи;

– FMEA аналіз конструкції. Спрямований на виявлення проблем у компонентах та підсистемах виробу;

– FMEA аналіз процесу. Спрямований на виявлення проблем у процесах виробництва, збирання, монтажу та обслуговування виробу [6].

Вони можуть застосовуватися кожен окремо, або у взаємозв'язку друг з одним.

Основне застосування FMEA – аналізу пов'язане з покращенням конструкції виробу та процесів щодо його виготовлення та експлуатації. Аналіз може застосовуватися як до новостворених виробів і процесів, так і по відношенню до вже існуючих [6].

FMEA – аналіз виконується, коли розробляється новий виріб, процес, послуга, або проводиться їх модернізація; коли є нове застосування для існуючого виробу, процесу чи послуги; коли розробляється план контролю нового чи зміненого процесу. Також, FMEA може проводитися з метою планового поліпшення існуючих процесів, виробу або послуги, або дослідження невідповідностей [6]. Це допомагає краще розуміти обладнання та процеси що в ньому відбуваються. Таким чином ми можемо зрозуміти чого загалом хочемо від обладнання, визначити які завдання та функції він буде виконувати.

Основними завданнями аналізу видів та наслідків відмов є:

– повна деталізація всіх видів відмов, оцінка всіх небажаних наслідків (ризиків) у межах системи, що вивчається;

– класифікація вивчених відмов та їх ранжування за ступенем впливу на функціонування системи за різними характеристиками;

– визначення критичності відмов для підприємства з метою впровадження спеціальних коригувальних заходів для зниження впливу відмов на роботу системи в цілому;

– створення плану покращення процесу/конструкції шляхом скорочення впливу відмов на систему;

					0032.175383.000.04MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

– створення плану ефективного технічного обслуговування та ремонту обладнання (верстатів, машин) для максимального зменшення ймовірності виникнення відмов [7].

Таким чином, проведення аналізу ризиків життєво необхідне для будь-якої організації, оскільки метод FMEA дозволяє виявити всі слабкі місця системи, а також запобігти можливим небажаним наслідкам у майбутньому [7].

Преваги FMEA

У порівнянні з іншими методиками використання методу FMEA для аналізу ризиків дозволяє отримати такі переваги:

- можливість усунути недоліки конструкції на етапі проектування;
- раннє визначення можливих відмов, які можуть призвести до порушення функціонування системи активів;
- визначення необхідних дій, які підвищують загальний рівень надійності системи;
- виявлення проблемних зон процесу, зниження ймовірності втрати якості продукції;
- концентрація уваги на справді проблемних місцях системи, ключових питаннях управління якістю та виготовлення продукції;
- визначення загальної стратегії та формування плану технічного обслуговування обладнання;
- метод допомагає зрозуміти конструкторам та технологам найбільш важливі параметри, що впливають на надійність системи;
- можемо скласти загальну картину системи з усіма функціями, відмовами та можливими заходами, що дозволяє заощадити ресурси [7].

2.3 Діаграма причин та наслідків Ісікави

Діаграма «риб'яча кістка» — це інструмент візуалізації для класифікації потенційних причин проблеми. Цей інструмент використовується для виявлення основних причин проблеми. Діаграма «риб'яча кістка», яка зазвичай використовується для аналізу першопричини.

Каору Ісікаві, японському експерту з контролю якості, приписують винахід діаграми «риб'яча кістка», яка допомагає співробітникам уникати рішень, які лише усувають симптоми набагато більшої проблеми. Діаграми «риб'ячих кісток» вважаються одним із семи основних інструментів якості. Діаграми «риб'яча кістка» також називають діаграмою причин і наслідків або діаграмою Ісікави.

Діаграма «риб'яча кістка» корисна під час розробки продукту та процесів усунення несправностей, зазвичай використовується, щоб зосередити розмову навколо проблеми. Після того, як група обміркувала всі можливі причини проблеми, фасилітатор допомагає групі оцінити потенційні причини відповідно до рівня їх важливості та побудувати схему ієрархії. Назва походить від дизайну діаграми, яка дуже нагадує скелет риби. Діаграми риби кістки зазвичай працюють справа наліво, при цьому кожна велика «кістка» риби розгалужується, щоб включати менші кістки, кожна з яких містить більше деталей. Схематично в загальному вигляді діаграма зображена на Рисунку 1.1

					0032.175383.000.04MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

знаходиться на завершальній стадії відмови, можна вжити заходів для запобігання повній функціональній відмові та уникнути різноманітних наслідків [2].

На рисунку 1.1 ми можемо побачити те, що відбувається на завершальній стадії відмови. Крива Р – F показує, як починається відмова та погіршується до точки, в якій вона може бути виявлена (точка Р), а потім, якщо вона не буде виявлена та не буде виправлена, то буде продовжувати погіршуватися, як правило, з прискоренням, доти доки не досягне точки функціональної відмови (F) [2].



Рисунок 2.4 - Крива розвитку відмови P – F

Точка в процесі виникнення відмови, в якій можна визначити відмову, що виникла, або відмову, яка повинна незабаром відбутися, називається потенційною відмовою. Потенційна відмова є станом, що ідентифікується, який вказує на те, що функціональна відмова або повинна відбутися, або перебуває у процесі виникнення.

Якщо потенційна відмова виявлена між точками Р і F, що показані на рисунку 1.1, можна вжити певних заходів для запобігання або уникнення наслідків функціональної відмови. Можливість вжити відповідних дій залежить від того, наскільки швидко відбувається відмова [2]. Завдання, що призначені для визначення потенційних відмов, називаються завданнями за станом.

Планове обслуговування за станом передбачає перевірку потенційних відмов, завдяки чому можна вжити заходів для запобігання функціональній відмови або уникнення її наслідків.

Крім самої потенційної відмови необхідно враховувати кількість часу (або кількість циклів навантаження) між точкою, в якій відбувається потенційна відмова (тобто точкою, в якій її можна виявити), і точкою, в якій він погіршується до функціональної відмови [2]. Як показано на рисунку 1.2, цей інтервал називається інтервалом Р – F.

Інтервал Р – F є інтервалом між виникненням потенційної відмови та його погіршенням до функціональної відмови.

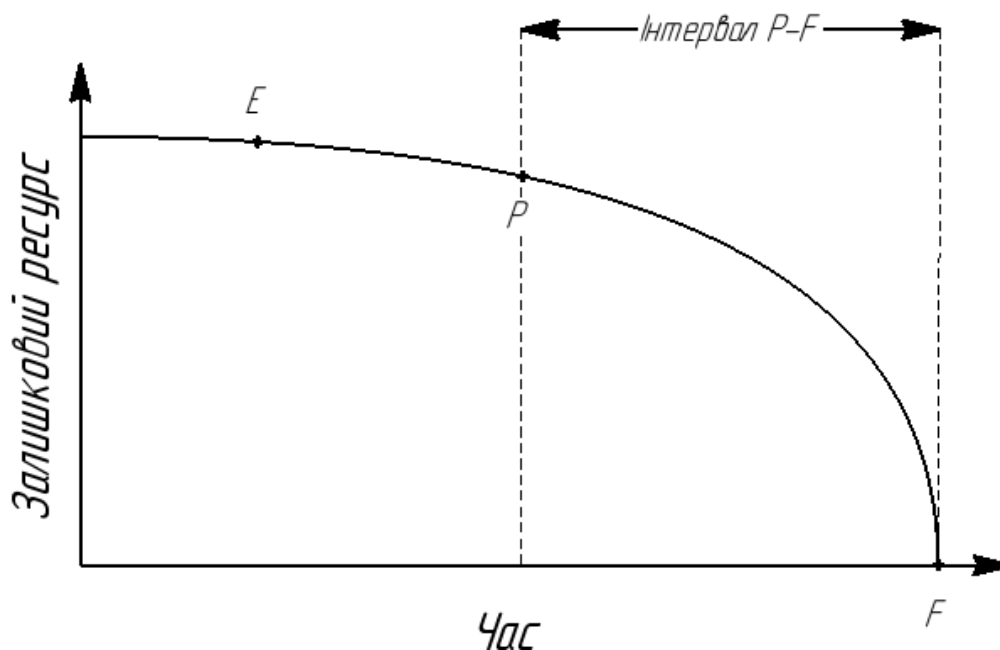


Рисунок 2.5. - Інтервал Р – F

Інтервал Р – F показує нам, як часто необхідно проводити обслуговування за станом.

Для того щоб виявити потенційну відмову, перш ніж вона стане функціональною, інтервал між перевірками повинен бути меншим за інтервал Р – F. Інтервал Р – F також називається попереджувальним періодом, часом виконання відмови чи періодом розвитку відмови. Він може вимірятись у будь-яких одиницях, які можуть забезпечувати індикацію, проте з урахуванням практичних причин найчастіше вимірюється в одиницях часу напрацювання. Для різних режимів відмов воно коливається від декількох секунди до кількох десятиліть.

Особливу увагу треба звернути на те, що якщо обслуговування за станом виконується з інтервалами, що перевищують інтервал Р – F, існує можливість упустити відмову взагалі. З іншого боку, якщо проводити обслуговування з занадто коротким інтервалом проти інтервалом Р – F, компанія тільки марно витратитиме ресурси на процес перевірки [2].

Правильно визначивши інтервал від потенційної відмови до функціональної ми можемо дізнатися про повний залишковий ресурс вузла або обладнання в цілому. Також ми можемо своєчасно визначити потребу в обслуговуванні, що не дасть обладнанню вийти з ладу запобігши наслідкам відмови.

2.5 Періодичний огляд обладнання для визначення інтервалу Р – F

Нескладно визначити інтервал Р – F для режимів відмов, пов'язаних з віком, завершальні стадії яких є лінійними. Значно важче визначити інтервал Р – F для відмов із прискореним погіршенням. Основною проблемою, пов'язаною із випадковими відмовами, є те, що нам невідомо, коли виникне наступна відмова, а отже, невідомо, коли наступна відмова почне опускатися

					0032.175383.000.04MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

по кривій P – F. Далі розглянемо п'ять способів які допоможуть правильно визначити цей інтервал.

Безперервне спостереження

Теоретично можна визначити інтервал P – F шляхом безперервного спостереження за об'єктом у процесі експлуатації до виникнення потенційної відмови та фіксації його часу, а потім продовжуючи спостерігати за об'єктом до його виходу з ладу. Слід зазначити, що ми не можемо побудувати повну криву P – F, спостерігаючи за об'єктом періодично, тому що коли відмова буде виявлена, невідомим буде час його початку [2].

Очевидно, що цей підхід є непрактичним, по-перше, тому що проводити безперервне спостереження дуже дорого, якщо намагатися встановити кожен інтервал P – F таким чином. По-друге, очікування функціональної відмови означає, що об'єкт повинен неодмінно вийти з ладу [2].

Поступове збільшення інтервалу, починаючи з найкоротшого

Непрактичність вищевикладеного підходу спонукає деяких користувачів до припущення, що інтервали P – F можна встановити, розпочавши з перевірки на якомусь досить короткому, але довільному інтервалі (припустимо, 10 днів), а потім почекати, доки не визначиться потрібний інтервал, поступово збільшувати інтервал. На жаль, цей підхід також призводить до точки виникнення функціональної відмови, яка закінчиться поломкою.

Такий підхід потенційно дуже небезпечний, тому що немає жодної гарантії, що початковий довільний інтервал, незалежно від того, наскільки він буде коротким, буде коротшим, ніж обраний для початку інтервал P - F (якщо самому процесу відмови не приділяється серйозна увага).

Довільні інтервали

Проблеми, пов'язані з двома вищеописаними підходами, призводять до цілком серйозного припущення, що деякі довільні прийнятно короткі інтервали повинні бути обрані для всіх завдань за станом. Цей довільний

підхід є найменш задовільним (і самим небезпечним) способом встановлення частоти виконання завдань за станом, тому що при його застосуванні немає жодної гарантії, що прийнятно короткий інтервал буде коротшим, ніж інтервал $P - F$. З іншого боку, справжній інтервал $P - F$ може бути набагато довшим, ніж довільний інтервал, і в цьому у разі завдання виконується з набагато більшою частотою, ніж це необхідно, що потребує більших ресурсів [2].

Дослідження

Найкращим способом встановити точний інтервал $P - F$ є моделювання відмови у спосіб, що не викликають будь-яких серйозних наслідків при його виникненні. Наприклад, цей спосіб застосовується під час випробувань літаків на відмову на землі, а не у повітрі. Він не лише надає дані про термін служби компонентів, але також дозволяє спостерігачам вивчити, як відмови розвиваються і наскільки швидко відбуваються [2]. Проте лабораторні випробування дороги, крім того, отримання результатів займає багато часу. Тому застосування цього способу виправдано в тих випадках, коли ризику схильна велика кількість компонентів і відмови можуть мати дуже серйозні наслідки, наприклад, у разі повітряних суден.

Раціональний підхід

Найчастіше визначити інтервали $P - F$ емпірично неможливо, недоцільно чи занадто дорого. Ще нерозумніше вводити обладнання в експлуатацію без виконаних певних вимірювань. Незважаючи на ці проблеми, інтервали $P - F$ все ж таки можна з високою точністю виміряти в ході експертиз та випробувань [2].

Перший прийом полягає у тому, щоб поставити правильне питання. Дуже важливо при визначенні інтервалу $P - F$ розуміти, що правильний питання - це: "Як швидко деталь виходить з ладу?", тобто ми запитуємо, скільки часу (або скільки циклів навантаження) проходить з моменту, коли потенційна відмова стає доступною для виявлення, до моменту, коли вона досягає стану функціональної відмови [2].

					0032.175383.000.04MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

Другий прийом полягає в тому, щоб запитати потрібних людей – людей, які мають глибокі знання про актив, способи виходу його з ладу та симптоми кожної відмови. Як правило, це співробітники, які працюють з обладнанням: майстри, які проводять його технічне обслуговування та їх безпосередні керівники. Для процесу виявлення можуть бути потрібні спеціальні інструменти, наприклад обладнання для моніторингу стану, то в аналізі мають також брати участь відповідні спеціалісти [2].

На практиці виявлено, що ефективним способом сформулювати судження про інтервали $P - F$ є постановка навідних питань, відповідаючи на які співробітники прийдуть до правильних висновків.

Третій прийом полягає у тому, щоб зосередитися на одному режимі відмови за один раз [2]. Іншими словами, якщо режим відмови - це зношування, то дослідники повинні зосередити увагу на характеристиках зносу і не повинні обговорювати, наприклад, корозію чи втому (якщо симптоми інші режими відмов майже ідентичні, а швидкість погіршення дуже схожа).

І, нарешті, всі учасники процесу аналізу повинні розуміти, що їхньою метою є досягнення інтервалу завдання за станом, меншим, ніж інтервал $P - F$, але не настільки, щоб допустити перевитрату ресурсів під час процесу перевірки.

Ефективність роботи такої групи подвоюється, якщо керівництво розуміє, що рішення приймається людьми і тому може бути хибним. Тим не менш, дослідники повинні також мати на увазі, що якщо відмова має наслідки для безпеки, ціна цієї помилки (у буквальному сенсі) може бути фатальною для них або їх колег, тому вони повинні виявляти в цьому відношенні особливу обережність.

3. Використання методології RCM на прикладі колісних пар електровозів

Технічне обслуговування колісних пар є однією з важливих частин обслуговування рухомого складу, бо на пряму впливає як на безпеку, так і на витрати, тому потребує постійного удосконалення.

Метою RCM є впровадження індивідуальної системи утримання, це потребує збору великого обсягу даних по кожному окремому локомотиву, максимально швидкої їх обробки та аналізу. Наша ціль, впровадити індивідуальний розрахунок системи утримання для кожного локомотива. Він полягає в тому, що ми будемо вести облік параметрів та на його основі розраховувати очікуваний момент виконання технічного обслуговування. Найпростішим варіантом технічного обслуговування є ТО-4 так, як всі потрібні данні в депо вже ведуться, результати обмірів контролюються тому нема потреби у впровадженні ніяких додаткових діагностичних приладів. Результати та принцип проведення досліджень описується далі.

Не беручи до уваги досить неважкий процес визначення параметрів колісної пари і відносну простоту обточки без викатки все ж таки з тих чи інших організаційних причин середні час простою в очікуванні технічного обслуговування сягає 5 діб, що посиляючись на наявні трьох річні данні перетворюється в місяць непродуктивного простою. Одним із факторів такого неефективного очікування є неправильне планування постановки локомотива в ремонт.

Проведемо аналіз найбільш поширених відмов колісних пар та переліку параметрів які контролюються під час експлуатації.

					0032.175383.000.04MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

3.1 Типові несправності колісних пар та способи їх виявлення

В цьому розділі розглянемо типові несправності колісних пар. Забороняється випускати в експлуатацію і допускати до руху в поїздах рухомий склад з тріщиною в будь-якій частині осі колісної пари чи тріщиною в ободі, диску і ступиці колеса, за наявності гострокінцевого накату на гребні колісної пари, а також при таких зношеннях і пошкодженнях, які порушують нормальну взаємодію колії та рухомого складу [19].

Прокатом коліс називають природне зношування поверхні їх катання внаслідок тертя об рейки (рис. 3.1). При досить великому прокаті гребінь колеса може торкатися болтів рейкових скріплень, що становить пряму загрозу безпеці руху. Тому до експлуатації не допускаються локомотиви, у яких колісні пари мають граничний прокат: при швидкості руху від 120 км/год до 140 км/год понад 5мм та при швидкості руху до 120 км/год більше 7мм на відстані 70 мм від внутрішньої грані колеса [18]. Несправність цього типу можна виявити абсолютним шаблоном (рис. 3.1) та товщиноміром (рис.3.2).

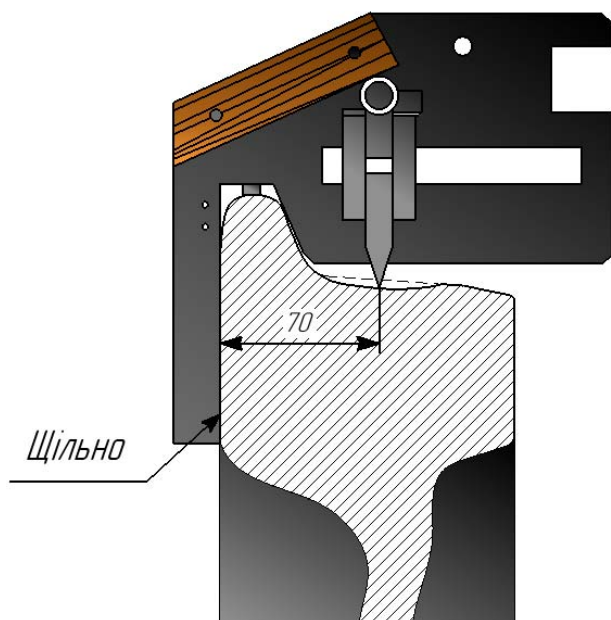


Рисунок 3.1. – Прокат поверхні катання

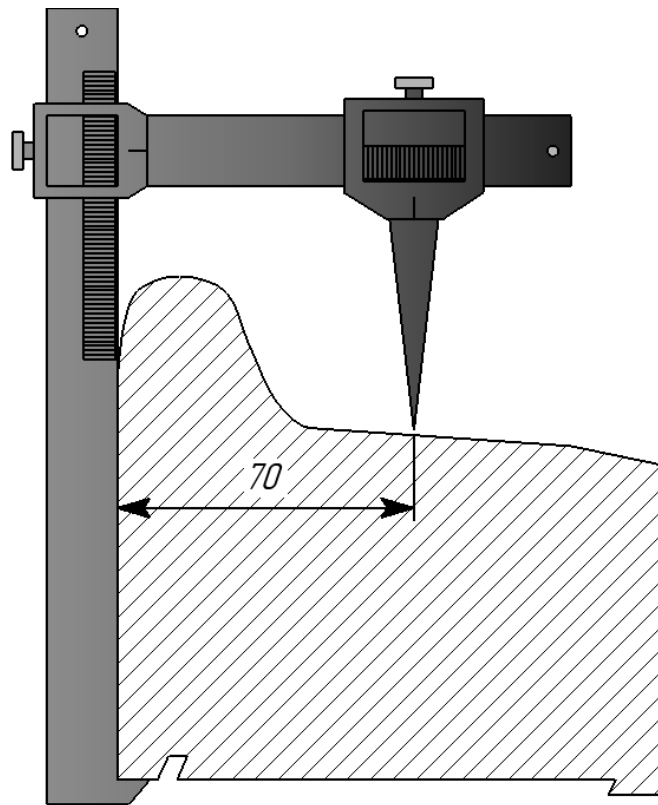


Рисунок 3.2. – Вимірювання поверхні катання товщиноміром

Повзунами називають стерті місця (вибоїни) на поверхні катання колеса, що утворюються при неправильному гальмуванні, коли колеса, сильно затиснуті гальмівними колодками, перестають обертатися і повзуть по рейках тобто ідуть юзом (рис. 3.3). Повзуни - вкрай небезпечний дефект, що викликає сильні удари коліс об рейки під час руху вагонів, що руйнують шлях та ходові частини вагонів. Про появу повзуна можна судити з характерного ритмічного стукоту коліс об рейки під час руху [18]. До експлуатації не допускаються повзуни на поверхні катання локомотивів понад 1 мм.

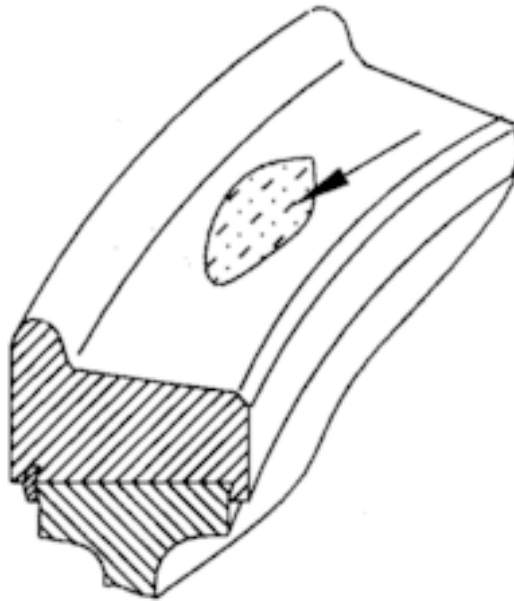


Рисунок 3.3. – Повзун

При виявленні повзуна в дорозі слідування можливість та умови подальшого руху визначаються виходячи з величини виявленого повзуна приведені в таблиці 3.1.

Глибину повзуна визначають абсолютним шаблоном або товщиноміром по різниці промірів у середині вибоїни (найглибшої її частини) і в місці нормального прокату колеса. Також, щоб визначити глибину повзуна, можна виміряти його довжину, після чого знайти значення за спеціальною таблицею [18].

Таблиця 3.1 – Допустима швидкість руху в залежності від глибини повзуна

Максимальна швидкість руху, км/год	Глибина повзуна, мм
Встановлена швидкість	До 1
Не більше 15 км/год до найближчої станції	від 1 до 2
Не більше 10 км/год до найближчої станції	від 2 до 4
Не більше 10 км/год за умови вивішування колісної пари до найближчої станції	4 і більше

Вертикальний підріз гребня – несправність, спричинена порушенням геометричної форми гребня внаслідок його підвищеного зносу (рис. 3.4). Вертикальний підріз гребня утворюється, якщо є перекис рами візка або від несиметричної насадки коліс на осі. Для виявлення небезпечного вертикального підрізу гребня застосовують спеціальний шаблон ВПГ або абсолютний шаблон [18]. Колісна пара не допускається до роботи, якщо вертикальна грань шаблону ВПГ стикається з поверхнею гребня, що підрізає, на висоті 18 мм незалежно від фактичної товщини гребня.

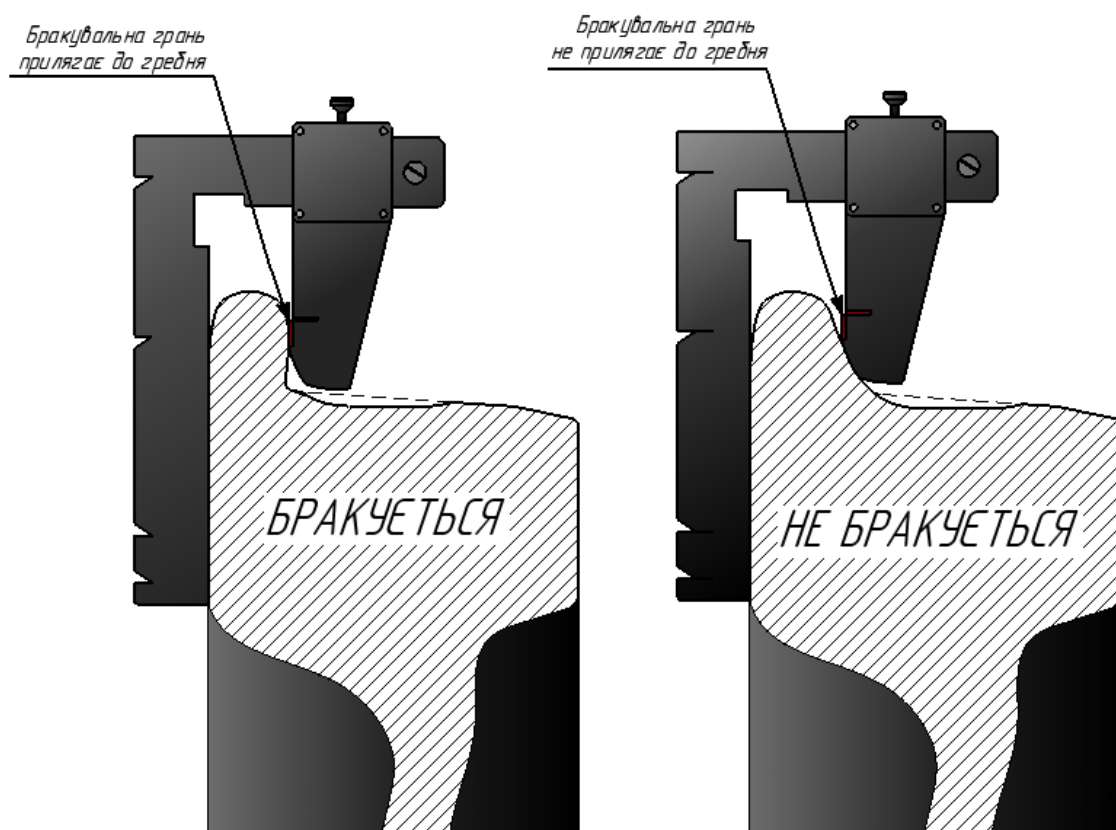


Рисунок 3.4. – Вертикальний підріз гребня

Гострокінцевий накат гребня також несправність, пов'язана з порушенням геометричної форми гребня колеса (рис. 3.5). Він утворюється внаслідок "видавлювання" металу на кінці гребня. Не допускається експлуатація колісної пари з гострим накатом гребня у будь-якого з коліс,

оскільки це може призвести до сходу вагона через набігання гребня на дотепник стрілочного перекладу [18].

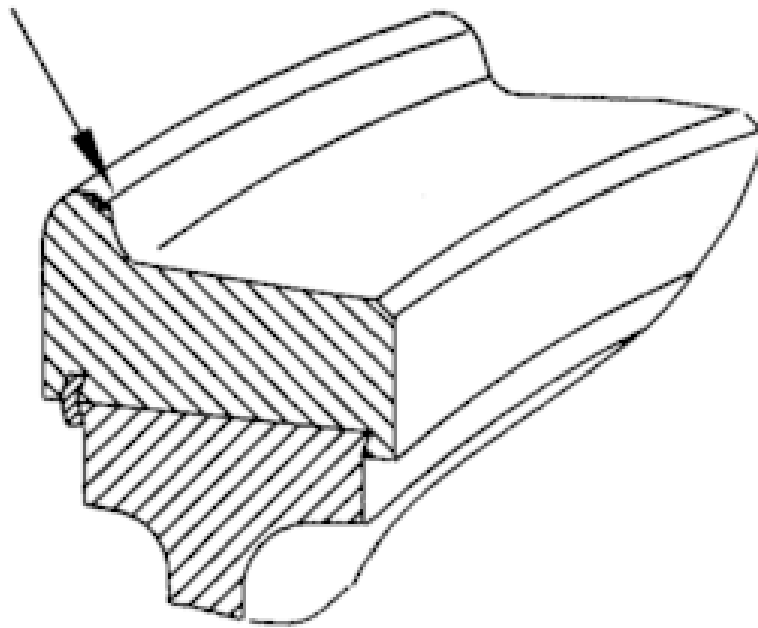


Рисунок 3.5. – Гострокінцевий накат

Відповідно до вимог ПТЕ товщина гребня колеса , повинна бути: при швидкості руху від 120 км/год до 140 км/год не більшою 33 мм, не меншою 28 мм та при швидкості до 120 км/год не більшою 33 мм, не меншою 25 мм (рис. 3.6). При гребні висотою 30 мм заміри проводяться на відстані 20 мм від вершини, гребінь висотою 28 мм заміряють на відстані 18 мм [19].

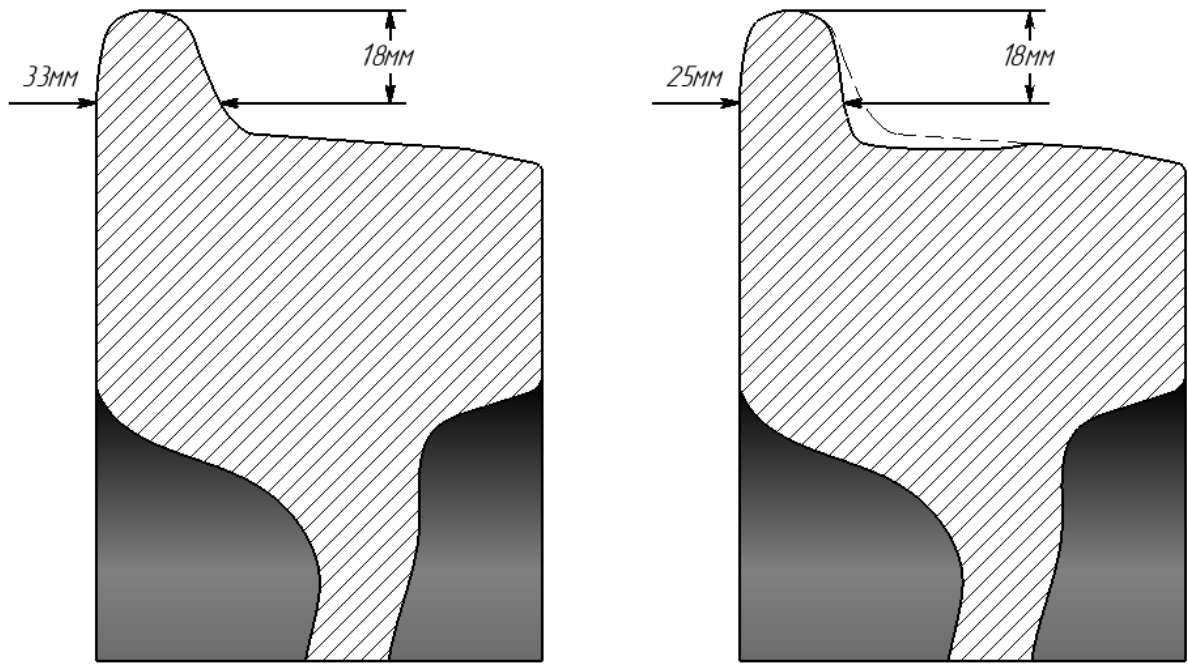


Рисунок 3.6. – Допустимі параметри товщини гребня висотою 28мм

Вищербиною називають невелике місцеве заглиблення на поверхні катання обода колеса, що з'являється внаслідок повзуна (рис. 3.7). Вищербини можуть також з'явитися через приховані дефекти металу [18]. До експлуатації не допускаються колісні пари, що мають на поверхні катання коліс вищербину глибиною понад 10 мм або довжиною понад 50 мм.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

0032.175383.000.04MP.ПЗ

Арк.

53

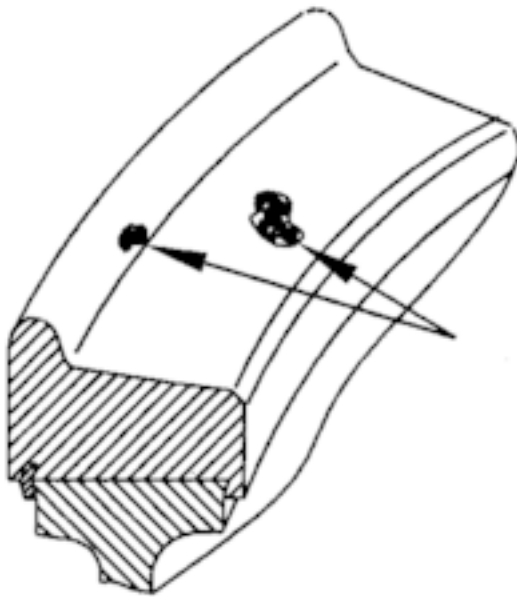


Рисунок 3.7. – Вищербина

3.2 Аналіз статистики щодо зносу колісних пар електровозів

Під час виконання дипломної магістерської роботи зібрані статистичні показання зносу колісних пар електровозів під номером 1, 2, 3 та 4. Для аналізу були взяті дані зносу бандажу та гребня за період трьох років та пробігом, який склав 396 тис. кілометрів.

На основі зібраних даних розраховано знос бандажа та гребня. З метою визначити та порівняти індивідуальний параметр зносу колісних пар для кожного локомотива.

Обчислення даних з урахуванням обточки показує реальний знос КП, а їх візуалізація дає зрозуміти, що саме обточка призводить до значно більшого зменшення товщини бандажа ніж реальний фізичний знос. В свою чергу знос без урахування обточки дає можливість прогнозувати момент наступного ТО.

3.2.1 Аналіз зносу гребня

Параметром який лімітує постановку електровоза на обточку є величина гребня. Показання розрахунку зносу гребня приведені в таблиці 3.2. Результати розрахунку інших локомотивів знаходяться в Додатку А. На основі зібраних даних робимо гістограму та бачимо яким чином зношується кожна колісна пара (рис. 3.8; 3.9; 3,10; 3,11). Беручи до уваги вище вказані параметри будуємо графіки швидкості зносу гребня (рис. 3.12; 3.13; 3,14; 3,15) та розуміємо, що характер зменшення товщини гребня є нерівномірним як в межах самого електровоза так і в межах кожної окремої колісної пари.

Постановка на обточування звісно певним чином залежить і від пробігу, але для кожної колісної пари і локомотива вона має свої значення. Ресурсним же параметром колісної пари залишається товщина бандажа тому, що саме вона визначає момент заміни бандажу коліс.

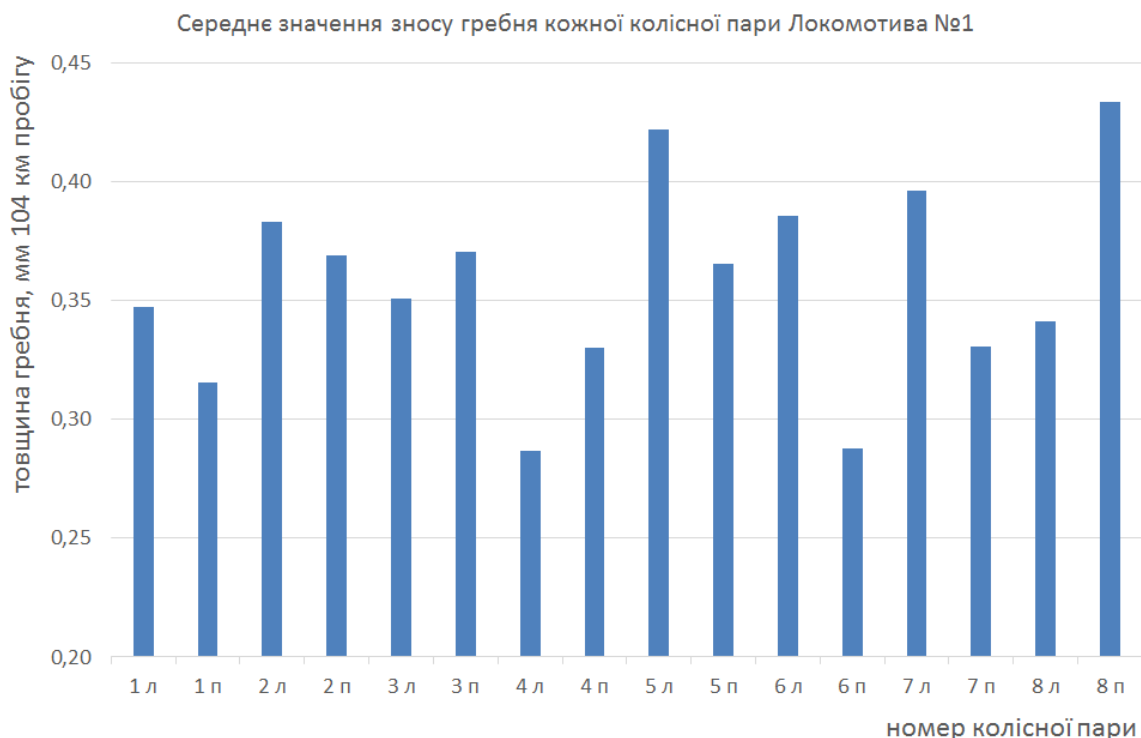


Рисунок 3.8. – Середнє значення зносу гребня кожної колісної пари
Локомотива №1



Рисунок 3.9. – Середнє значення зносу гребня кожної колісної пари Локомотива №2



Рисунок 3.10. – Середнє значення зносу гребня кожної колісної пари Локомотива №3

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

0032.175383.000.04MP.ПЗ

Арк.

56



Рисунок 3.11. – Середнє значення зносу гребня кожної колісної пари
Локомотива №4

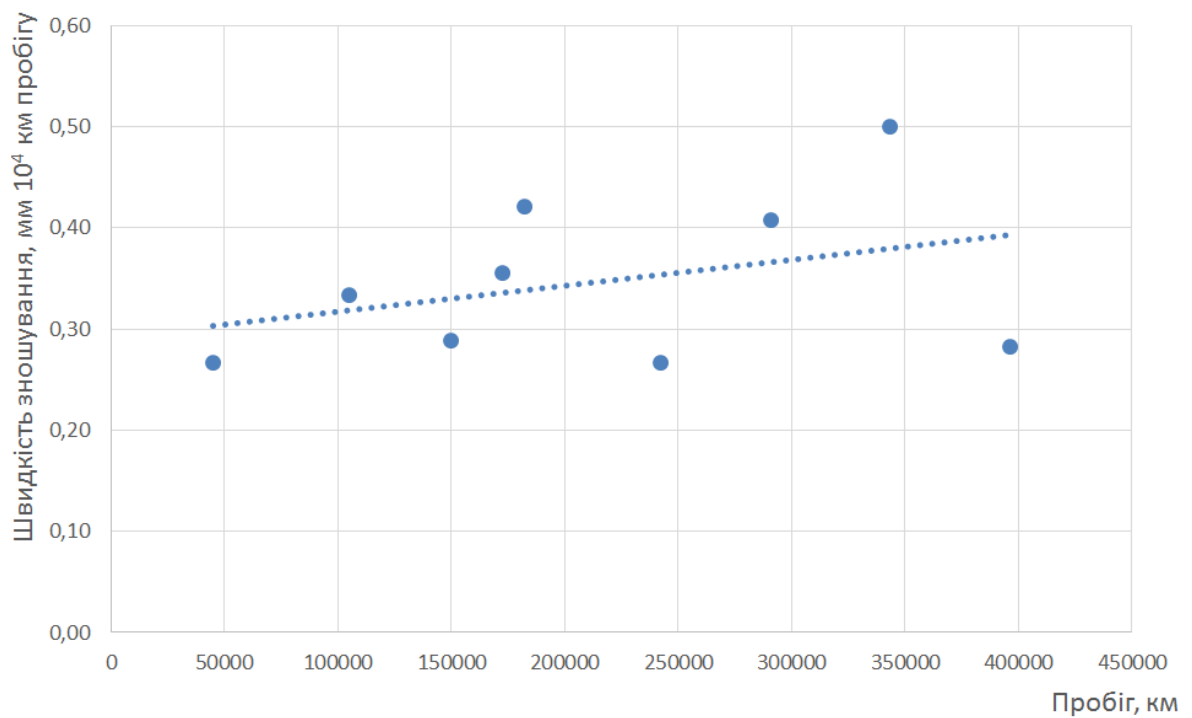


Рисунок 3.12. – Зношування гребня 1 л колісної пари, електровоз №1

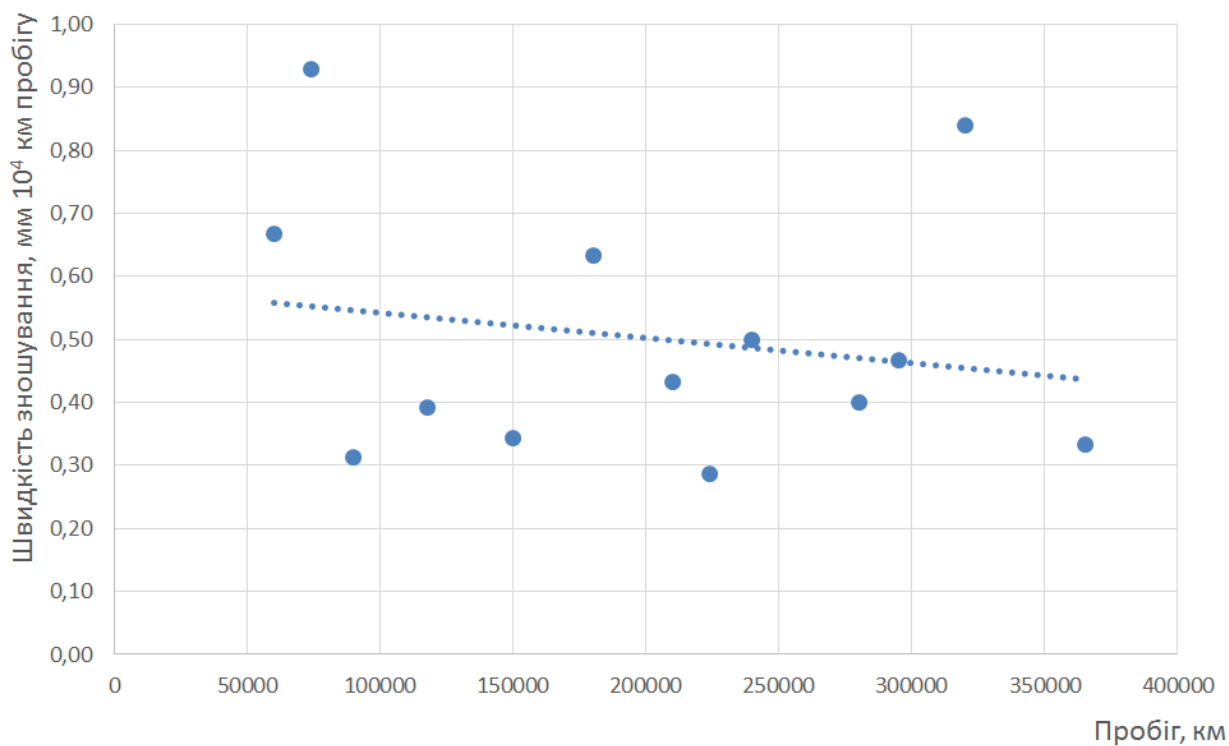


Рисунок 3.13. – Зношування гребня 1 л колісної пари, електровоз №2

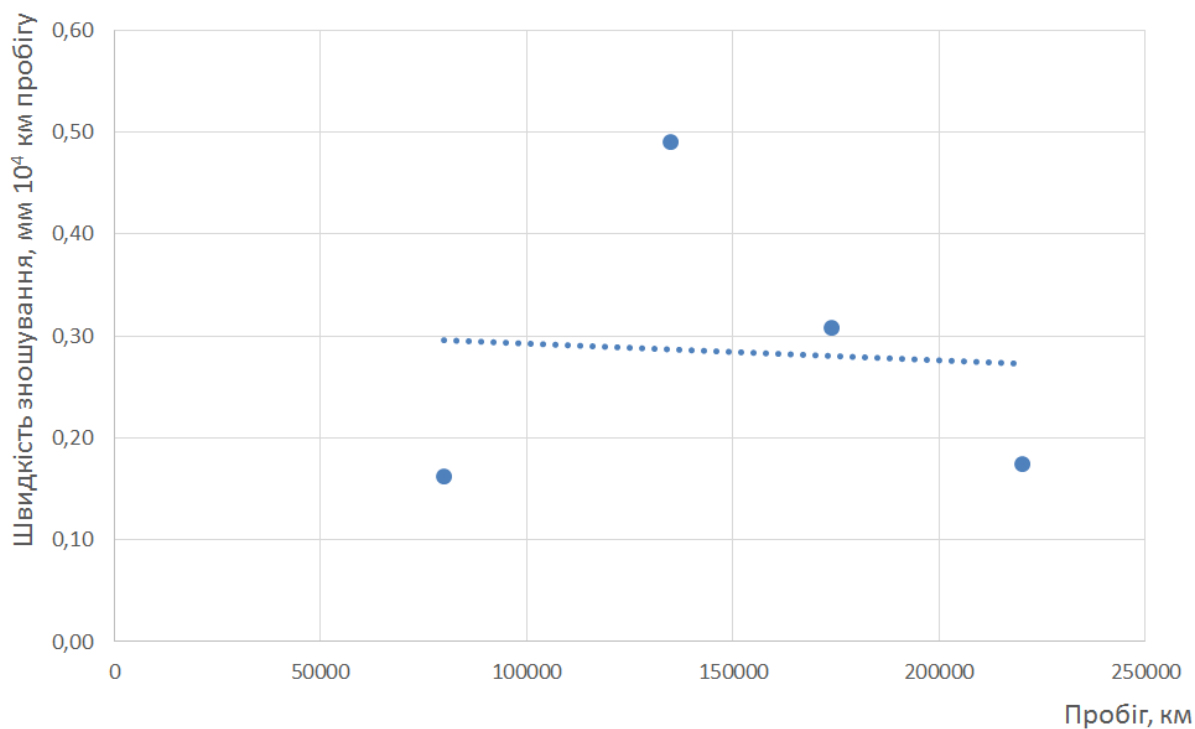


Рисунок 3.14. – Зношування гребня 1 л колісної пари, електровоз №3

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

0032.175383.000.04MP.ПЗ

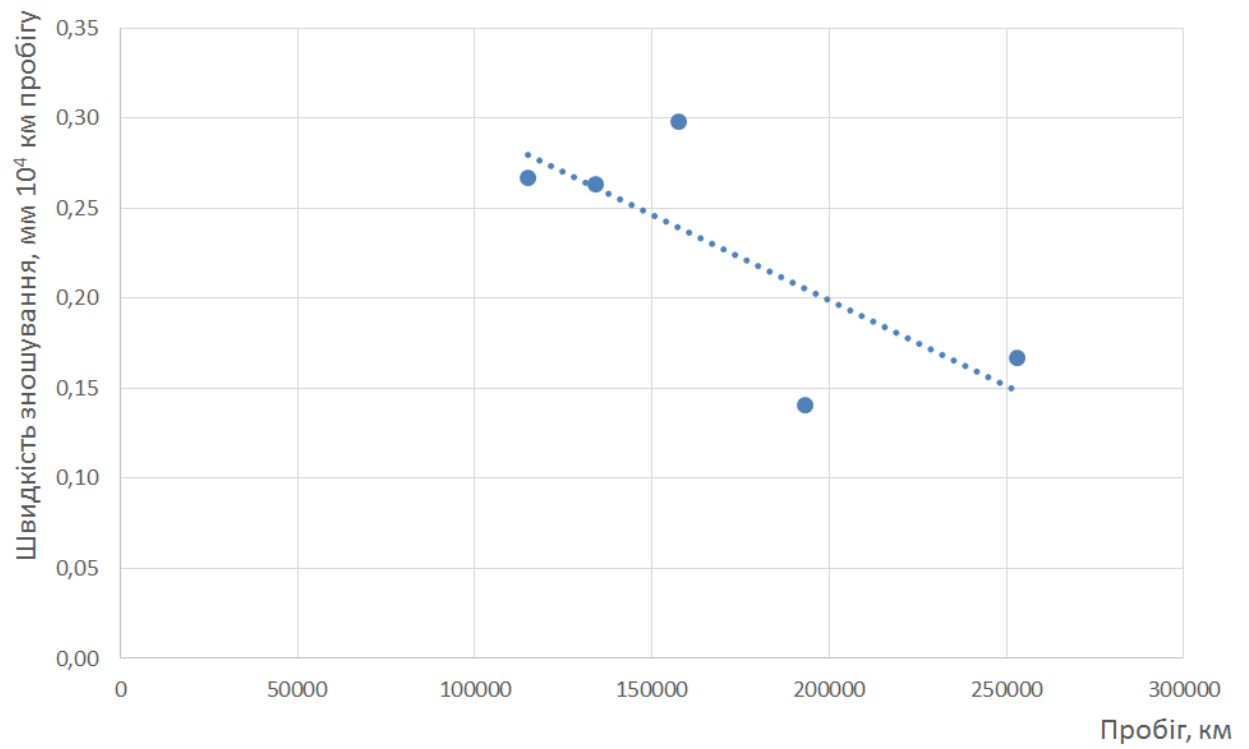


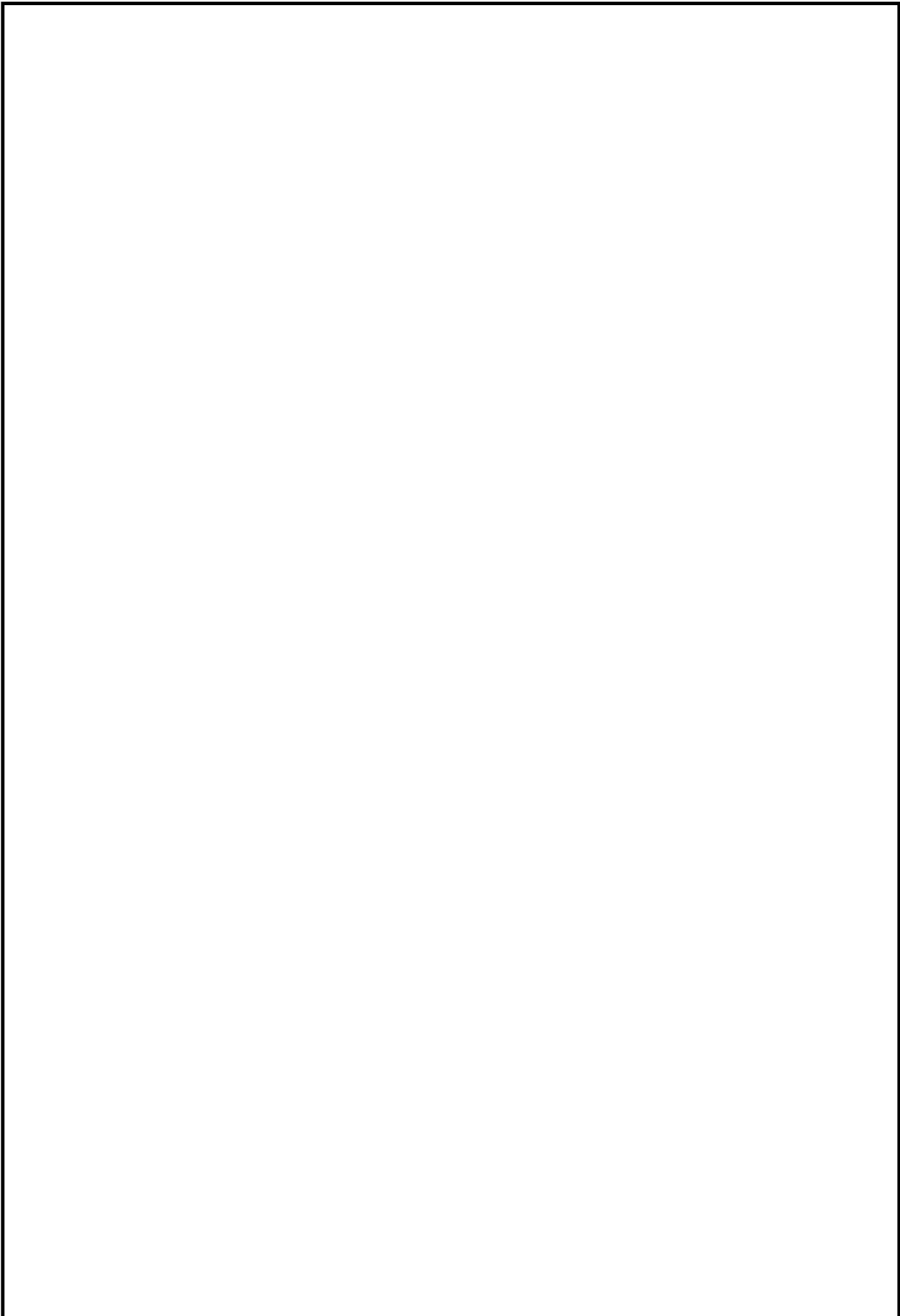
Рисунок 3.15. – Зношування гребня 1 л колісної пари, електровоз №4

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

0032.175383.000.04MP.ПЗ

Арк.

59



					<i>0032.175383.000.04MP.ПЗ</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		60

3.2.2 Аналіз зносу бандажу

Вихідні показання розрахунку природнього зносу представлені в таблиці 3.3, а дані зносу з урахуванням обточки в таблиці 3.4. Результати розрахунку інших локомотивів знаходяться в Додатку А. Зібрані та розраховані значення використовуємо для побудови графіків зображених на рис. 3.16; 3.17; 3.18; 3.19; 3.20; 3.21; 3.22; 3.23. та в Додатку Б.

На графіку (рис. 3.16; 3.17; 3.18; 3.19) добре видно, що в процесі експлуатації швидкість зношування відносно пробігу зменшується, структура графіка (рис. 3.20; 3.21; 3.22; 3.23) показує місця масивного зносу у результаті обточок їх кількість та обсяг. Розглянувши графіки розуміємо, що процес зменшення товщини бандажа є не рівномірним та має форму лінійного графіка зі сходинками, а найбільшим фактором зменшення являється обточка, значення ж природнього зносу є досить рівномірним.

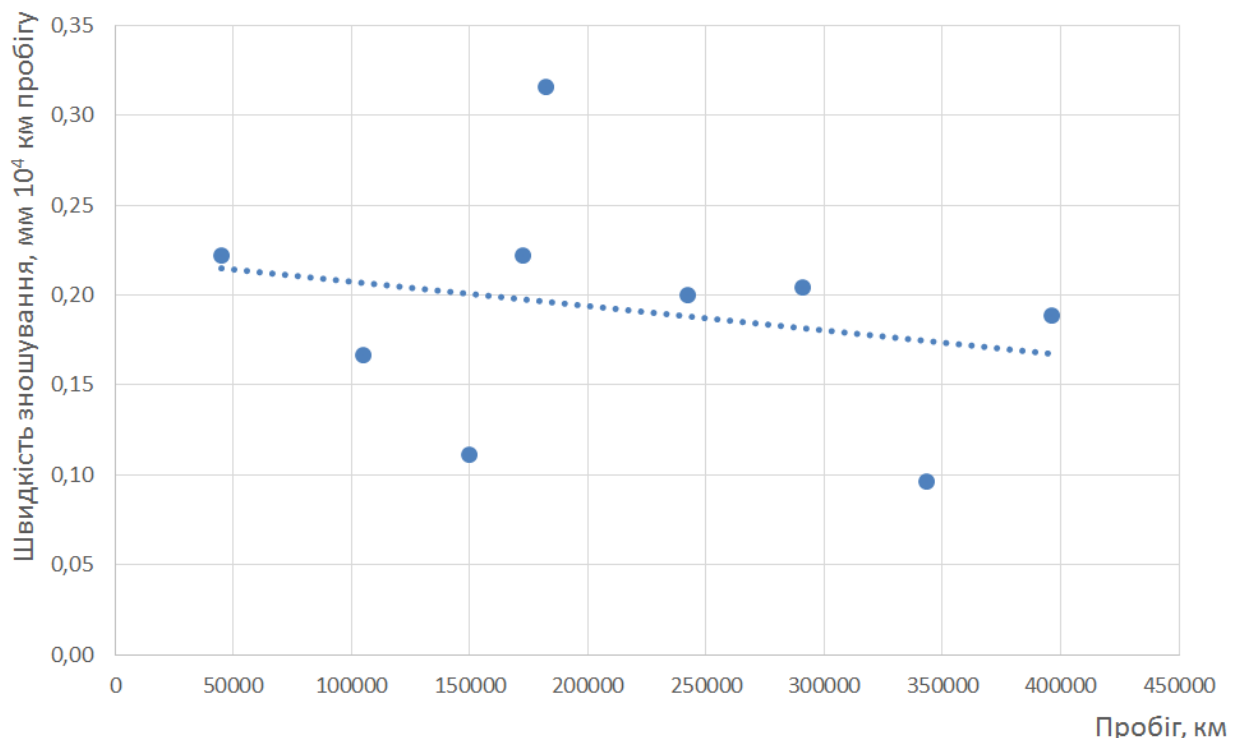


Рисунок 3.16. – Зношування бандажа 1 л колісної пари без урахування обточки, електровоз №1

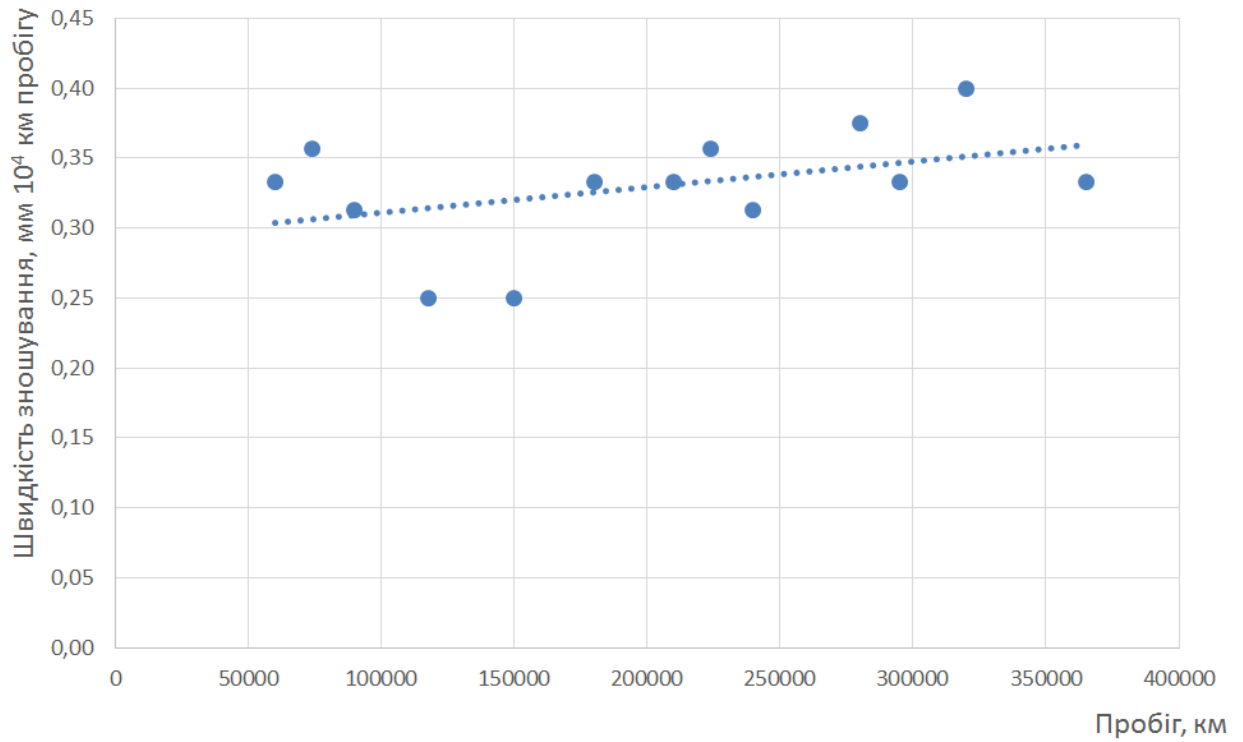


Рисунок 3.17. – Зношування бандажа 1 л колісної пари без урахування обточки, електровоз №2

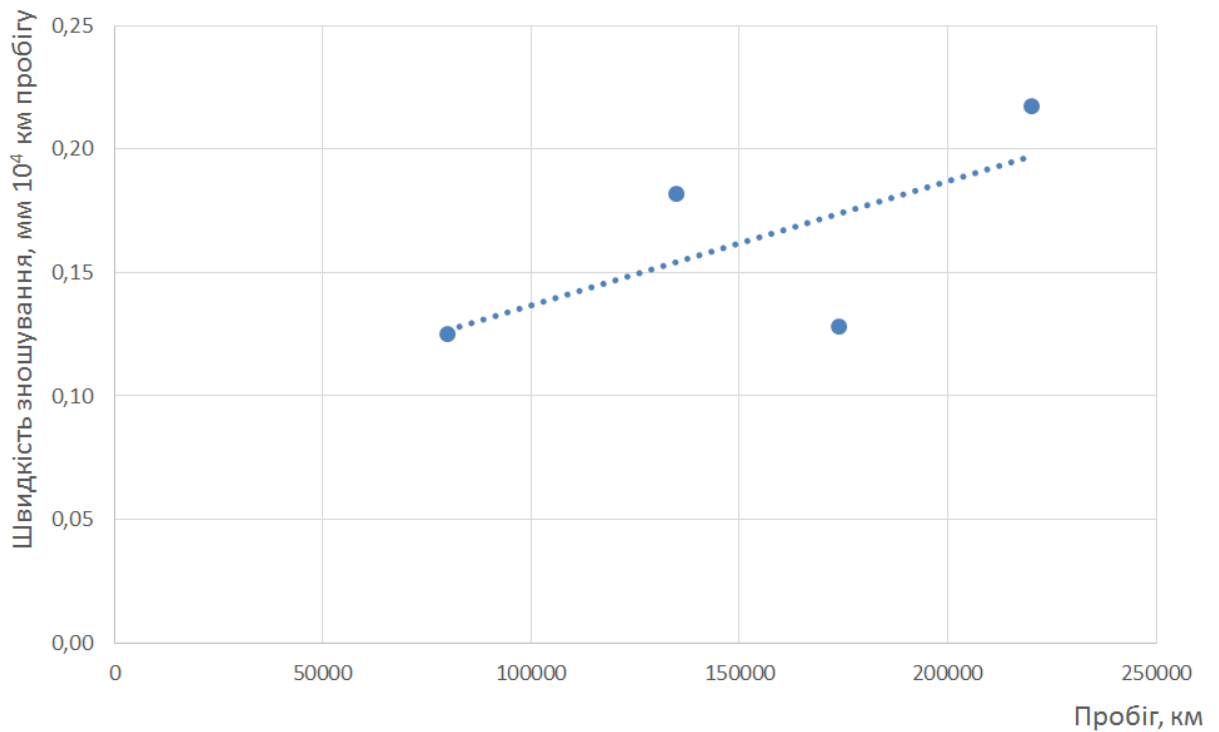


Рисунок 3.18. – Зношування бандажа 1 л колісної пари без урахування обточки, електровоз №3

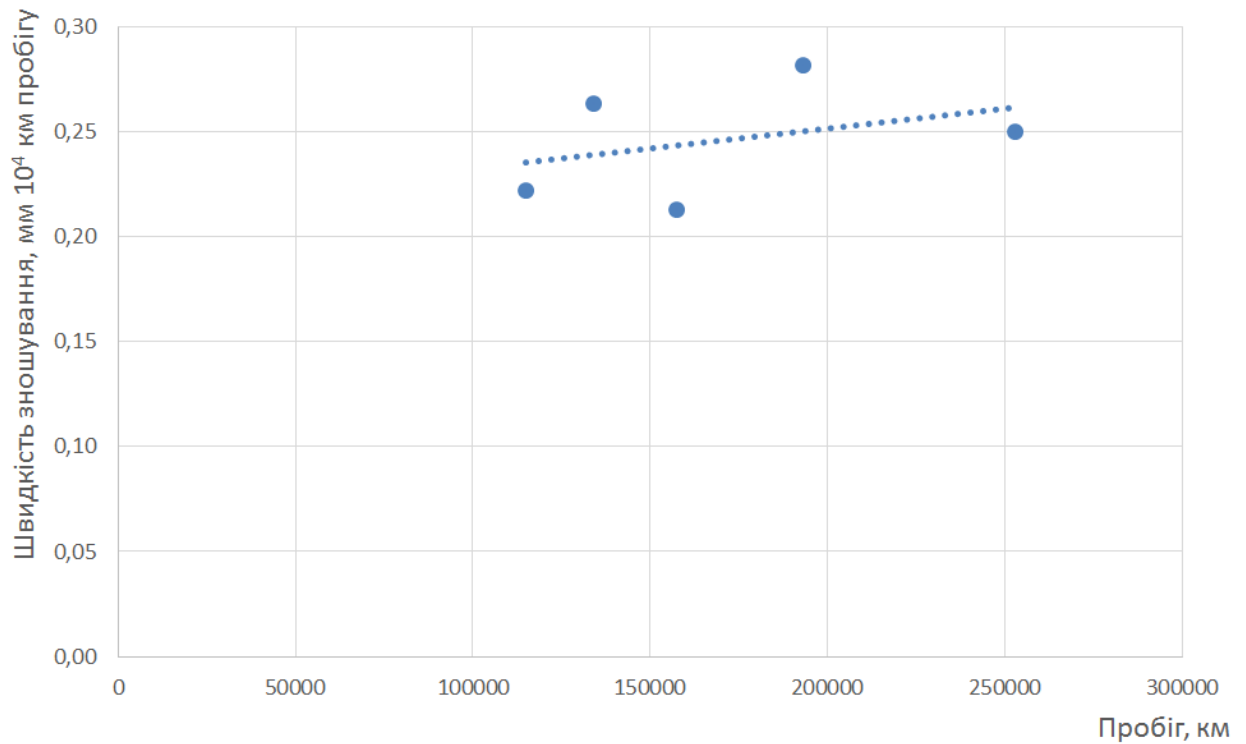


Рисунок 3.19. – Зношування бандажа 1 л колісної пари без урахування обточки, електровоз №4

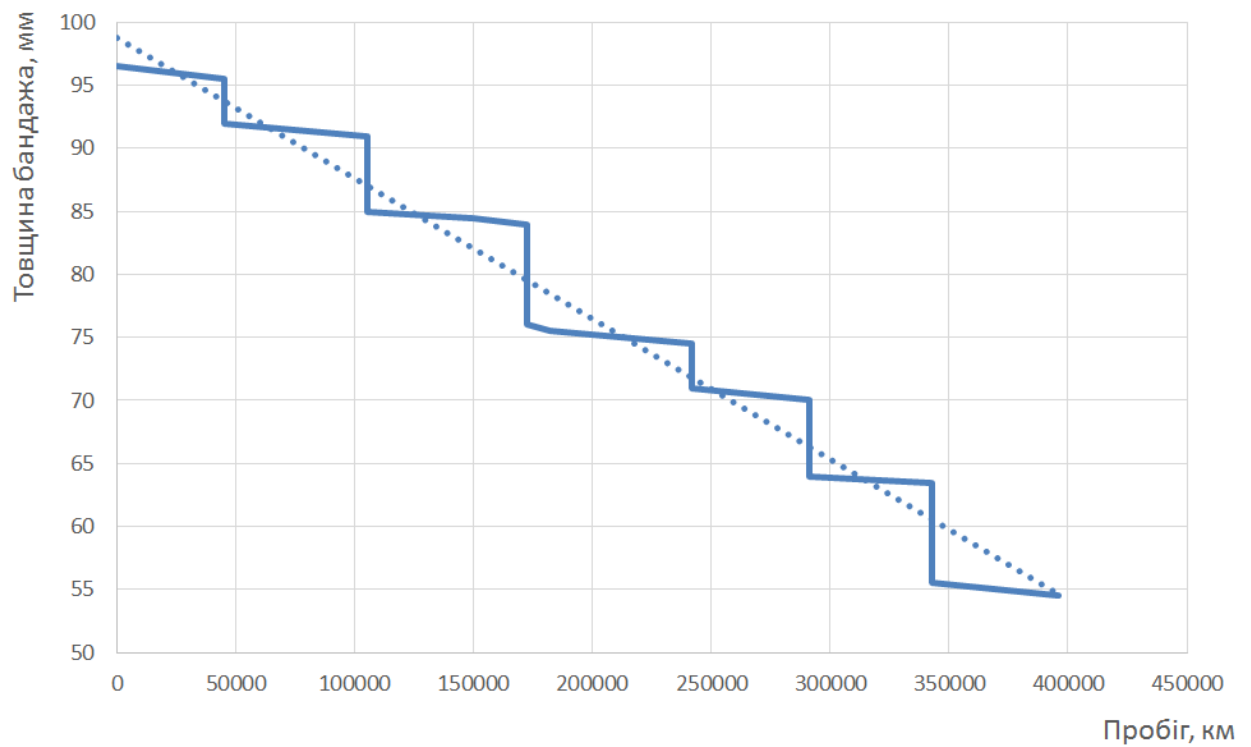


Рисунок 3.20. – Зношування бандажа 1 л колісної пари з урахуванням обточки, електровоз №1

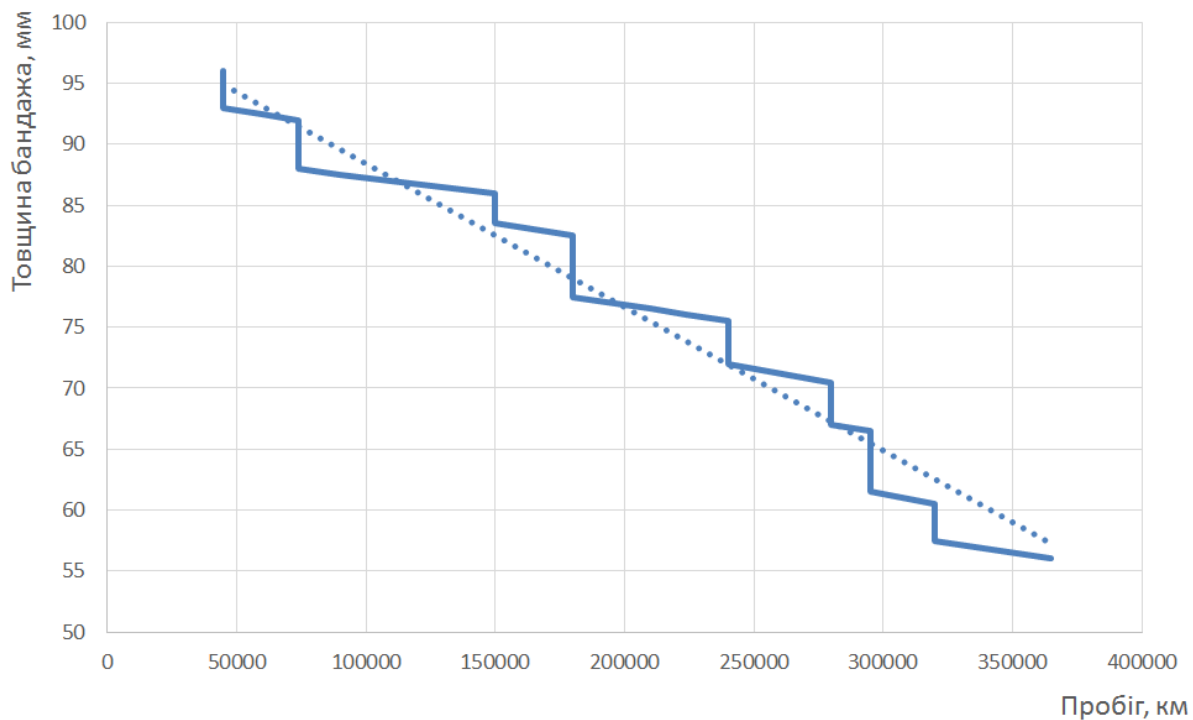


Рисунок 3.21. – Зношування бандажа 1 л колісної пари з урахуванням обточки, електровоз №2

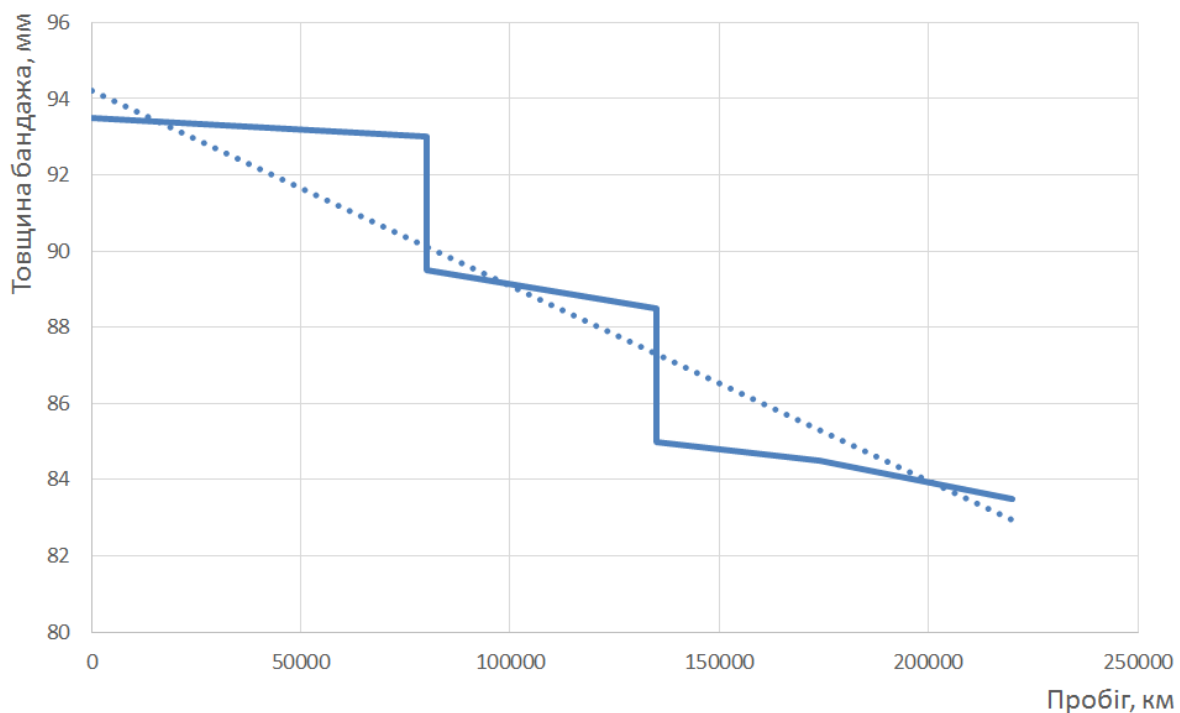


Рисунок 3.22. – Зношування бандажа 1 л колісної пари з урахуванням обточки, електровоз №3

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

0032.175383.000.04MP.ПЗ

Арк.

64

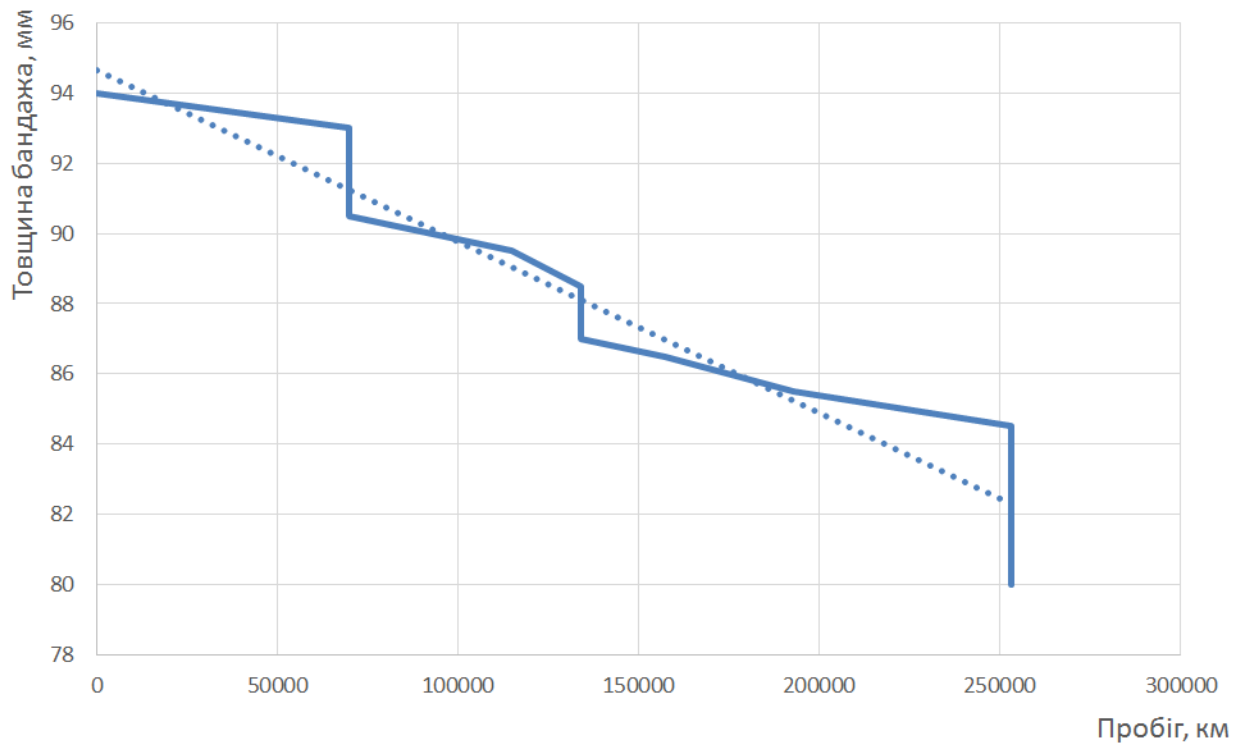
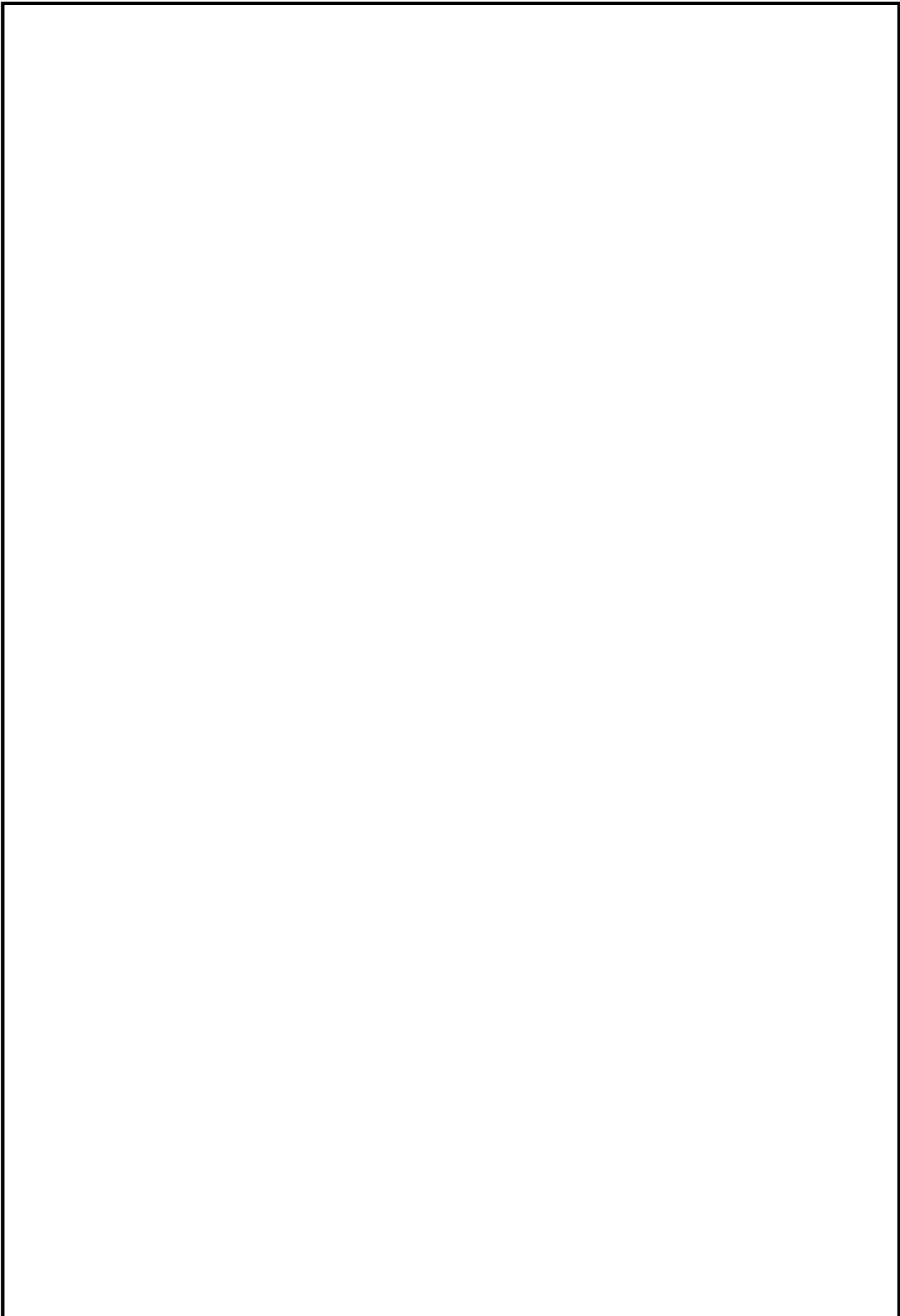
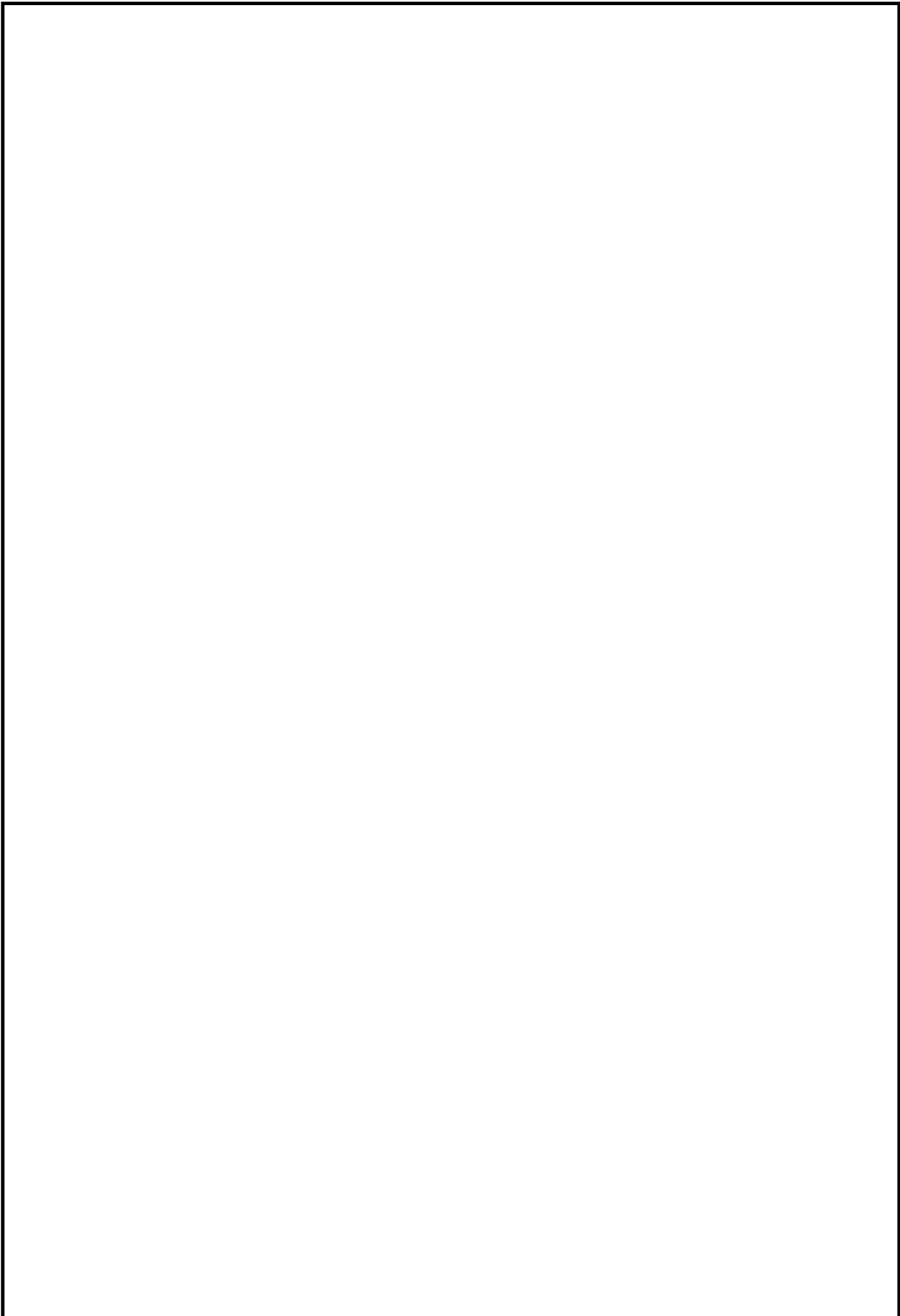


Рисунок 3.23. – Зношування бандажа 1 л колісної пари з урахуванням обточки, електровоз №4



					<i>0032.175383.000.04MP.ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		66



					<i>0032.175383.000.04MP.ПЗ</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		67

3.3 Порівняльний аналіз зношування по електровозах

Беручи за основу данні середнього зносу бандажа та гребня кожного локомотива будемо лінійну діаграму. Рисунки 3.24; 3.25; 3.26 показують, що показники зносу відрізняються один від одного, тому кожен локомотив потребує індивідуальної програми постановки на обслуговування на основі його фактичних даних. Причинами такого нерівномірного зносу можуть бути різноманітні фактори. Прикладом таких факторів можуть бути: порушення регламентів експлуатації локомотивною бригадою, особливості маршруту та стан колії, неякісний матеріал виготовлення бандажів, допущення помилок при виконанні замірів, та їх фіксації в журналі.

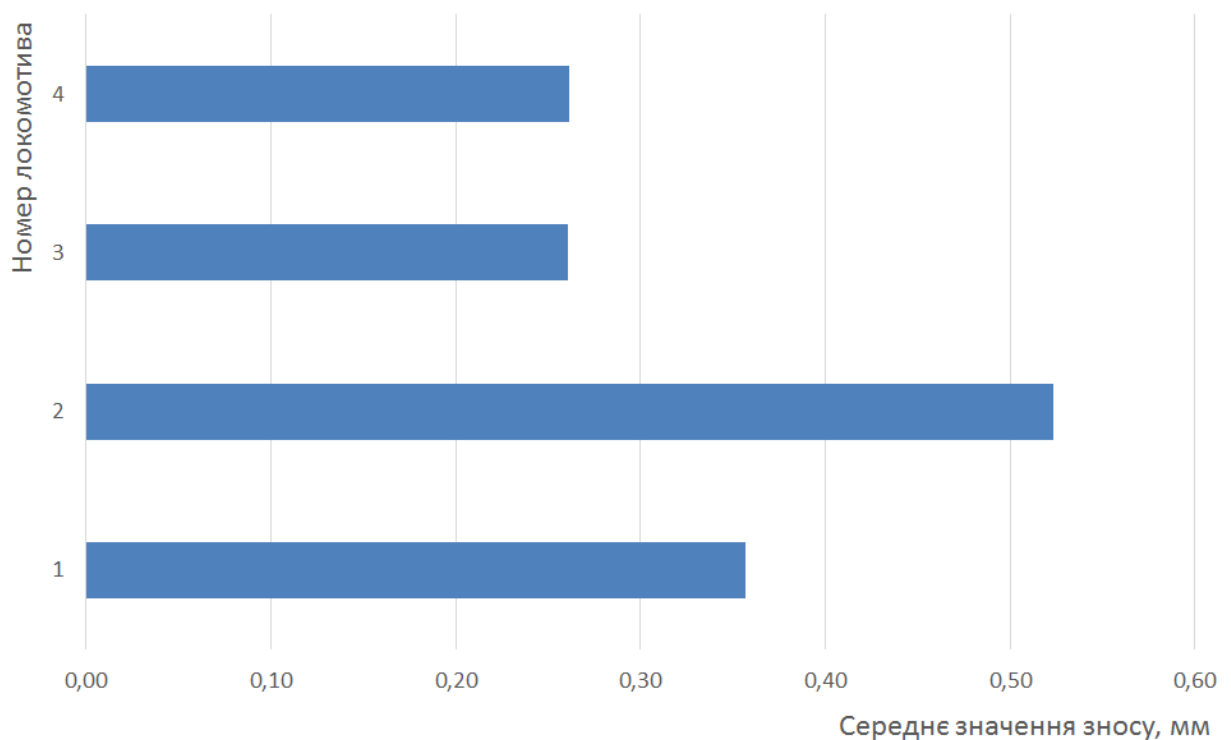


Рисунок 3.24. – Середнє значення зношування бандажу локомотивів без урахування обточки

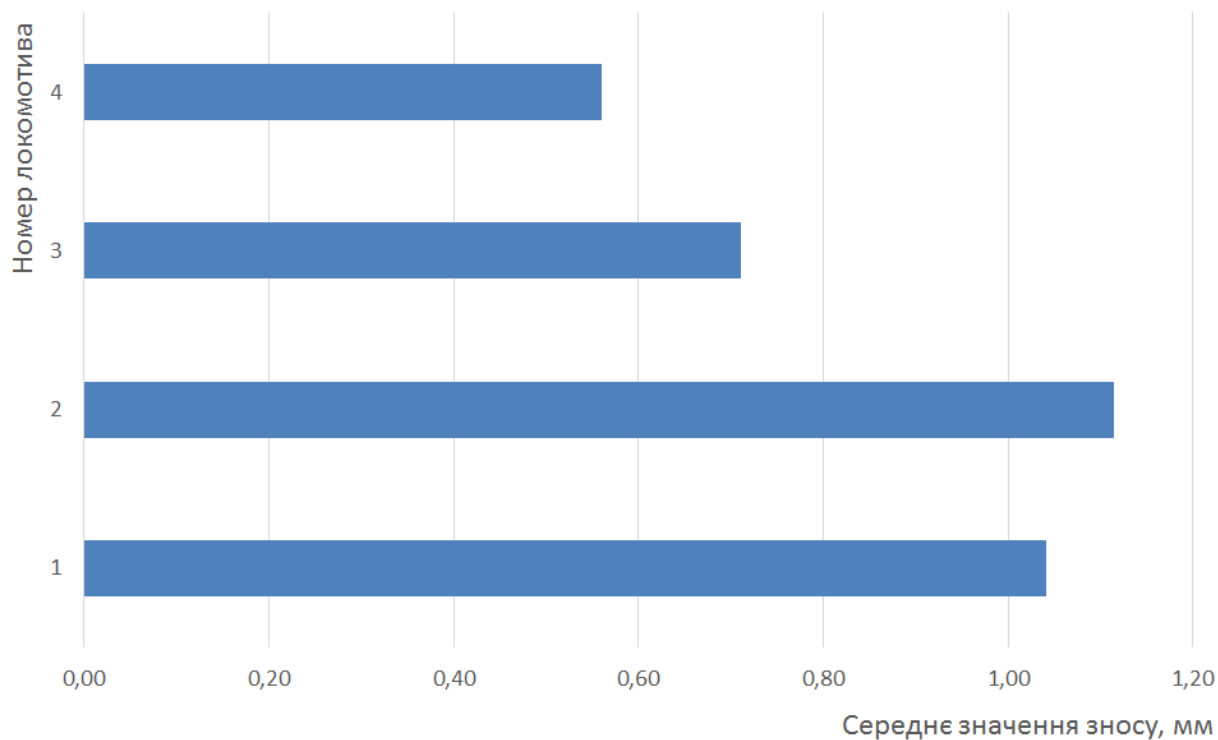


Рисунок 3.25. – Середнє значення зношування бандажу локомотивів з урахування обточки

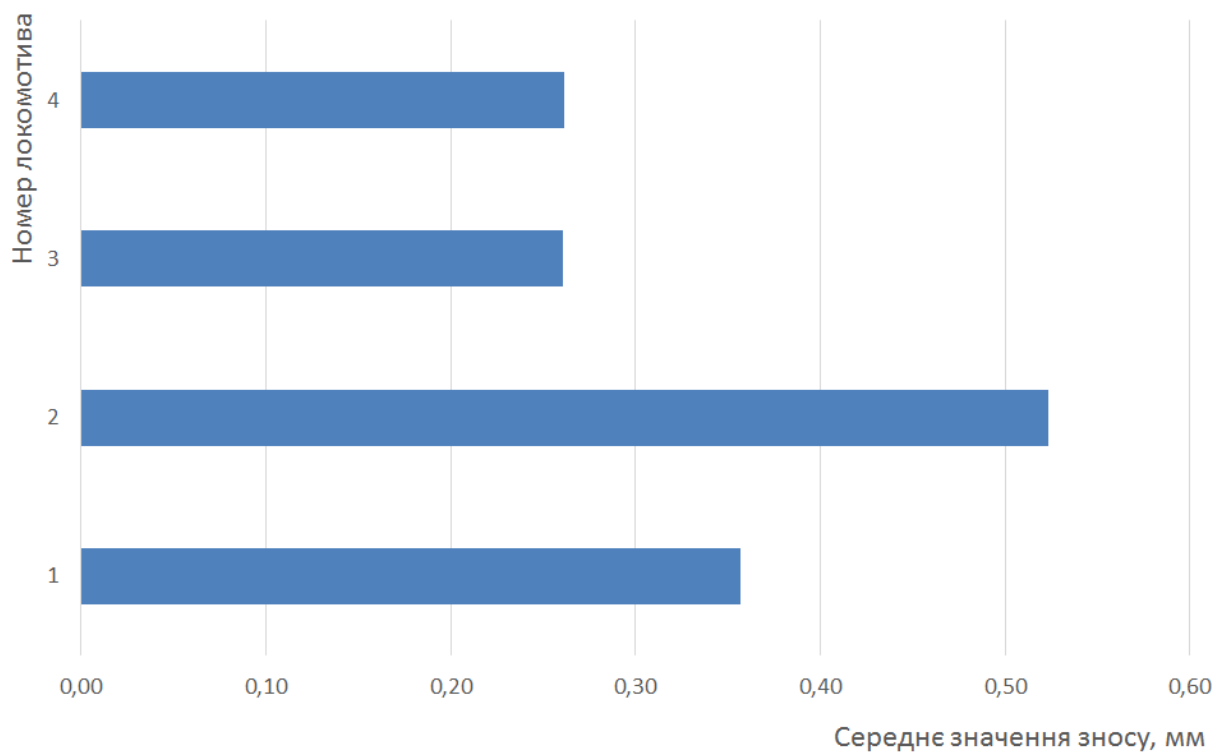


Рисунок 3.26. – Середнє значення зношування гребня локомотивів

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

0032.175383.000.04MP.ПЗ

3.4 Пропозиції удосконаленню системи утримання

Кожен локомотив потребує збору та аналізу даних з урахуванням його індивідуальних параметрів. Завдяки цим даним ми зможемо прогнозувати постановку рухомого складу на обточку, а значить можемо заздалегідь вибрати час ТО уникаючи простою в очікуванні, яке в середньому на сьогодні складає 5 днів. Варто зазначити, що контроль такого простого параметру, як значення зносу колісних пар може значно вплинути на загальну кількість часу в використанні, що неодмінно призведе до підвищення ефективності експлуатації.

Підраховані данні середнього зносу бандажу кожної колісної пари чотирьох наявних локомотивів поєднуємо в діаграмі та будуємо на їх основі лінію тренду (рис. 3.27).

На рисунку бачимо яким чином відбувається зменшення товщини бандажа відносно пробігу. Перші дві лінії локомотивів 1 та 2 позначені пунктиром побудовані на основі реальних даних. Локомотиви ж 3 і 4 складаються з двох частин. Одна із них (пунктирна лінія) реальні дані, інша (штрихова лінія) є прогноною і будується на основі зібраних даних обточки та зносу. Прогнозна лінія не постійна, тому кожного разу коли база системи буде отримувати нові параметри замірів вона буде змінюватися за рахунок автоматичного перерахунку системою.

					0032.175383.000.04MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70

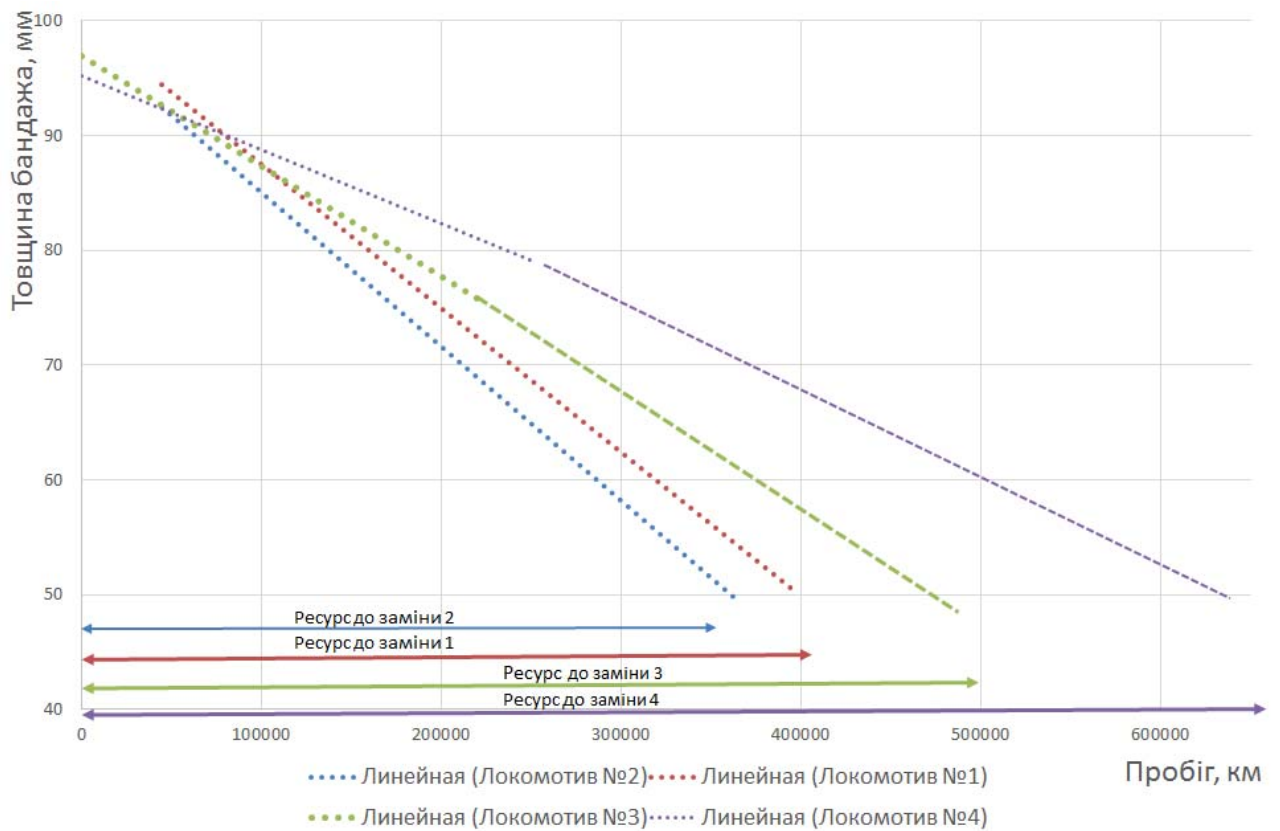


Рисунок 3.27. – Графік прогнозування зносу бандажу локомотивів відносно пробігу

Кожин локомотив має індивідуальний графік зносу це видно по лінії тренду та пробігу. Різниця пробігу між 1, 2 та 3, 4 локомотивом досить велика, а все тому, що останні два мають менше обточок, проте кожна наступна дасть змогу коригувати і прогнозувати з більшою точністю.

Висновки

Організація технічне обслуговування та ремонту локомотивів потребує постійного вдосконалення, що вимагає від нас більшої згуртованості та відданості справі як і зазначає методологія RCM.

Дослідженню різноманітних методів удосконалення та збору інформації було витрачено досить багато часу, проте це дало змогу краще зрозуміти цілі та напрям застосування вибраного підходу. Впровадження методології RCM в локомотивному господарстві може бути виконано в різноманітних напрямках, проте за основу було взяті саме колісні пари тому, що вони є однією з основних гарантів безпечної експлуатації. Фактичні дані КП локомотивів маже ніяк не використовуються хоча має великий потенціал в прогнозуванні.

Зібрані та проаналізовані параметри, що напряму стосуються обточування при правильному використанні можуть значно скоротити простої локомотивів в очікуванні ТО-4. На сьогоднішній день час простою становить 5 днів, а за підрахунком трьох річних даних майже місяць не ефективного використання локомотивного парку, що несе досить значні збитки підприємству.

На основі підрахованих значень була побудована діаграма залежності повного зносу бандажу відносно пробігу. Отримані дані за допомогою сучасної автоматизованої системи дають змогу прогнозувати залишковий ресурс кожної колісної пари. Це дає можливість організувати постановку локомотивів на ремонт з мінімальною втратою часу. Рівень апроксимації даної діаграми показав, що теоретично побудовані криві відповідають практичним даним, а значить може бути використана на практиці.

					0032.175383.000.04MP.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72

14. 6 Сигм [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://www.kpms.ru/General_info/SixSigma.htm.
15. METHODOLOGYSIX SIGMA [Електронний ресурс]. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.sixsigmadaily.com/what-is-six-sigma/>.
16. METHODOLOGY RCM [Електронний ресурс] // 2019 – Режим доступу до ресурсу: <https://smart-eam.com/preimushhestva-metodologija-rcm/>.
17. Reliability centered maintenance (RCM) [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.fiixsoftware.com/maintenance-strategies/reliability-centered-maintenance/>.
18. Карелин Д. И. КОЛЕСНЫЕ ПАРЫ ЛОКОМОТИВОВ И ВАГОНОВ [Електронний ресурс] / Денис Игоревич Карелин // Орехово-Зуевский железнодорожный техникум имени В.И.Бондаренко. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.caredenis.ru/resources/techsr/html/les04.html>.
19. Правила технічної експлуатації залізниць України книга – Київ: Транспорт України, 1995. – 256 с. – (Преса України). – (252047; 215040).

					<i>0032.175383.000.04MP.ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		74

Додаток А

Розрахунок зношування гребнів колісних пар в залежності від пробігу

Таблиця А.1 – Знос гребня локомотива № 2 в залежності від пробігу

Пробіг, км		Знос гребня по колісних парах, мм															
від ПР-3	від ТО-4	1 л	1 п	2 л	2 п	3 л	3 п	4 л	4 п	5 л	5 п	6 л	6 п	7 л	7 п	8 л	8 п
45000	0	0,67	0,67	0,93	0,87	0,87	1,40	0,93	1,33	1,00	1,00	1,07	0,93	1,07	0,87	1,00	0,80
60000	15000	0,93	0,93	1,00	0,64	0,79	0,14	0,86	0,64	0,86	1,07	0,64	0,50	1,07	0,71	0,71	0,71
74000	14000	0,31	0,44	0,56	0,19	0,38	0,81	0,50	0,38	0,56	0,63	0,75	0,44	0,06	0,38	0,31	0,31
90000	16000	0,39	0,39	0,46	0,18	0,71	0,82	0,75	0,25	0,86	0,54	0,32	0,21	0,11	0,18	0,43	0,43
118000	28000	0,34	0,25	0,53	0,31	0,69	0,53	0,38	0,44	0,75	0,53	0,47	0,31	0,47	0,78	0,31	0,47
150000	32000	0,63	0,73	0,67	1,07	0,17	0,43	0,50	1,00	0,17	0,43	0,17	0,47	0,83	0,93	0,23	0,13
180000	30000	0,43	0,33	0,33	0,00	0,30	0,17	0,43	0,33	0,37	0,40	0,13	0,20	0,73	0,50	0,27	0,20
210000	30000	0,29	0,29	0,36	1,07	0,64	0,64	0,71	0,57	0,14	0,36	0,14	0,36	0,14	0,71	0,57	0,93
224000	14000	0,50	0,38	0,75	0,38	0,63	0,00	0,50	0,94	0,81	0,81	0,31	0,63	0,69	0,13	0,31	0,31
240000	16000	0,40	0,43	0,50	0,75	0,33	0,50	0,25	0,00	0,18	0,40	0,20	0,20	0,25	0,50	0,50	0,23
280000	40000	0,47	0,40	0,47	1,13	0,47	0,60	0,40	0,67	0,80	0,80	0,13	0,13	0,80	0,53	0,80	0,93
295000	15000	0,84	0,68	1,00	0,20	0,76	0,52	0,84	0,48	0,40	0,48	0,60	0,60	1,04	0,64	0,52	0,40
320000	25000	0,33	0,33	0,22	0,33	0,47	0,11	0,56	0,11	0,62	0,11	0,27	0,27	0,31	0,11	0,40	0,40
365000	45000	0,50	0,48	0,60	0,55	0,55	0,51	0,59	0,55	0,58	0,58	0,40	0,40	0,58	0,54	0,49	0,48
Сер. знач. по колісній парі																	
Сер. знач. по локомотиву	0,52																

Таблиця А.2 – Знос гребня Локомотива № 3 в залежності від побігу

Пробіг, км	Знос гребня по колісних парах, мм																	
	від ПР-3	від ТО-4	1 л	1 п	2 л	2 п	3 л	3 п	4 л	4 п	5 л	5 п	6 л	6 п	7 л	7 п	8 л	8 п
80000			0,16	0,13	0,18	0,06	0,06	0,06	0,14	0,02	0,06	0,05	0,11	0,00	0,06	0,06	0,10	0,04
135000			0,49	0,33	0,44	0,31	0,31	0,24	0,13	0,09	0,29	0,27	0,45	0,27	0,27	0,27	0,33	0,27
174000			0,31	0,38	0,26	0,49	0,31	0,41	0,18	0,26	0,26	0,38	0,18	0,54	0,26	0,18	0,23	0,26
220 000			0,17	0,11	0,11	0,11	0,54	0,22	0,54	0,52	0,54	0,41	0,28	0,43	0,43	0,52	0,33	0,48
Сер. знач. по колісній парі			0,28	0,24	0,24	0,24	0,31	0,23	0,25	0,22	0,29	0,28	0,26	0,31	0,26	0,26	0,25	0,26
			0,26															

Таблиця А.3 – Знос гребня Локомотива № 4 в залежності від побігу

Пробіг, км	Знос гребня по колісних парах, мм																	
	від ПР-3	від ТО-4	1 л	1 п	2 л	2 п	3 л	3 п	4 л	4 п	5 л	5 п	6 л	6 п	7 л	7 п	8 л	8 п
115000			0,27	0,29	0,27	0,29	0,27	0,44	0,33	0,31	0,49	0,27	0,22	0,22	0,29	0,31	0,27	0,31
134000			0,26	0,21	0,11	0,37	0,26	0,32	0,37	0,32	0,42	0,37	0,11	0,26	0,53	0,37	0,53	0,68
157500			0,30	0,21	0,34	0,21	0,21	0,17	0,34	0,34	0,09	0,34	0,43	0,51	0,21	0,34	0,09	0,09
193000			0,14	0,20	0,28	0,25	0,37	0,28	0,14	0,34	0,25	0,14	0,28	0,14	0,11	0,08	0,28	0,25
253000			0,17	0,13	0,08	0,35	0,12	0,08	0,25	0,13	0,25	0,27	0,27	0,25	0,07	0,12	0,12	0,17
Сер. знач. по колісній парі			0,23	0,21	0,22	0,29	0,25	0,26	0,29	0,29	0,30	0,28	0,26	0,28	0,24	0,24	0,26	0,30
Сер. знач. по локомотиву			0,26															

0032.175383.000.04МР.ПЗ

Анк

Зм. Лист № докум. Підп. Дата

Розрахунок зношування бандажа колісних пар в залежності від пробігу

Таблиця А.4 – Знос бандажа без урахування обточки Локомотива № 2 в залежності від пробігу

Пробіг, км		Знос бандажа по колісних парах без урахування обточки, мм															
від ПР-3	від ТО-4	1 л	1 п	2 л	2 п	3 л	3 п	4 л	4 п	5 л	5 п	6 л	6 п	7 л	7 п	8 л	8 п
60000	15000	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33
74000	14000	0,36	0,36	0,36	0,36	0,50	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36
90000	16000	0,31	0,31	0,31	0,31	0,19	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31
118000	28000	0,25	0,25	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,18	0,18	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36
150000	32000	0,25	0,25	0,31	0,31	0,31	0,31	0,16	0,16	0,16	0,16	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31
180000	30000	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33
210000	30000	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,20	0,33	0,33	0,33	0,33
224000	14000	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36
240000	16000	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,63	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31
280000	40000	0,38	0,38	0,38	0,38	0,25	0,25	0,25	0,25	0,38	0,38	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
295000	15000	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33
320000	25000	0,40	0,40	0,20	0,20	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
365000	45000	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22
Сер. знач. по колісній парі		0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,30	0,31	0,29	0,30	0,32	0,30	0,31	0,31	0,31	0,31
Сер. знач. по локомотиву		0,31															

0032.175383.000.04MP.ПЗ

Таблиця А.5 – Знос бандажа з урахування обточки Локомотива № 2 в залежності від побігу

Пробіг, км	Знос бандажа по колісних парах з урахуванням обточки, мм															
	1 л	1 п	2 л	2 п	3 л	3 п	4 л	4 п	5 л	5 п	6 л	6 п	7 л	7 п	8 л	8 п
від ПР-3	1 л	1 п	2 л	2 п	3 л	3 п	4 л	4 п	5 л	5 п	6 л	6 п	7 л	7 п	8 л	8 п
45000	96	96	93	93,5	95	95	96	96	96	95,5	94,5	96	96	95,5	96	95
45000	93	93	91	91	91	92	92	92	91	91	91	91	90,5	91	90	90,5
60000	92,5	92,5	90,5	90,5	90,5	91,5	91,5	91,5	90,5	90,5	90,5	90,5	90	90,5	89,5	90
60000	92,5	92,5	89	89	90	90	89,5	89,5	86,5	87,5	90,5	90,5	88	88	89,5	90
74000	92	92	88,5	88,5	89,3	89,3	89	89	86	87	90	90	87,5	87,5	89	89,5
74000	88	88	88,5	88,5	89,3	89,3	89	89	82	82,5	87	87	87,5	87,5	87	87
90000	87,5	87,5	88	88	89	89	88,5	88,5	81,5	82	86,5	86,5	87	87	86,5	86,5
90000	87,5	87,5	82,5	83	85	86	85	85	80	81,5	86,5	86,5	85,5	86	86,5	86,5
118000	86,8	86,8	81,5	82	84	85	84	84	79,5	81	85,5	85,5	84,5	85	85,5	85,5
118000	86,8	86,8	81,5	82	82	82	82	82	75	75	84	84	84,5	85	84,5	84
150000	86	86	80,5	81	81	81	81,5	82	74,5	74,5	83	83	83,5	84	83,5	83
150000	83,5	83	78	78	79	79	78	78,5	72,5	72	75,5	76	79	78	75	75,5
180000	82,5	82	77	77	78	78	77	77,5	71,5	71	74,5	75	78	77	74	74,5
180000	77,5	78	71,5	71	78	78	72,5	72	71,5	71	74,5	75	73	73	74	74,5
210000	76,5	77	70,5	70	77	77	72	71,5	71	70,5	74	74,4	72	72	73	73,5
210000	76,5	77	70,5	70	77	77	72	71,5	65,5	66	72	72,5	69,5	69,5	73,5	73,5
224000	76	76,5	70	69,5	76,5	76,5	71,5	71	65	65,5	71,5	72	69	69	73	73
224000	76	76	70	69,5	70,5	70	70	70	65	65,5	71,5	72	69	69	71,5	71,5
240000	75,5	75,5	69,5	69	70	69,5	69,5	69,5	64,5	65	70,5	71,5	68,5	68,5	71	71
240000	72	73,5	66,5	67,5	70	69,5	69,5	69,5	64,5	65	70,5	71,5	66	66	71	71
280000	67	67,5	62	62	69	68,5	68,5	68	62	62	69,5	70,5	65	65	68	68
295000	66,5	67	61,5	61,5	68,5	68	68	67,5	61,5	61,5	69	70	64,5	64,5	67,5	67,5
295000	61,5	62	54	54,5	62	62	61	61,5	55,5	56	62	61,5	61,5	61	62	62
320000	60,5	61	53,5	54	61	61	60	60,5	54,5	55	61,5	61	61	60,5	61,5	61,5
320000	57,5	58	50,5	50	58,5	58,5	56,5	57	50,5	51,5	56,5	57	57,5	58	57,5	58
365000	56	56,5	49	48,5	57	57	55,5	56	49,5	50,5	55,5	56	56,5	57	56,5	57
Сер. знач. по колісній парі	1,10	1,08	1,21	1,23	1,04	1,04	1,11	1,10	1,27	1,23	1,07	1,10	1,08	1,05	1,08	1,04
Сер. знач. по локомотиву	1,11															

0032.175383.000.04MP.ПЗ

Анк

Таблиця А.6 – Знос бандажа без урахування обточка Локомотива № 3 в залежності від побігу

Пробіг, км		Знос бандажа по колісних парах без урахування обточка, мм																
від ПР-3	від ТО-4	1 л	1 п	2 л	2 п	3 л	3 п	4 л	4 п	5 л	5 п	6 л	6 п	7 л	7 п	8 л	8 п	
80000	80000	0,13	0,13	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
135000	55000	0,18	0,18	0,18	0,18	0,09	0,09	0,09	0,09	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18
174000	39000	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,26	0,26	0,13	0,13	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26
220 000	46 000	0,22	0,22	0,22	0,22	0,33	0,22	0,11	0,11	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22
Сер. знач. по колісній парі		0,16	0,16	0,15	0,15	0,15	0,12	0,13	0,13	0,15	0,15	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18
Сер. знач. по локомотиву		0,16																

Таблиця А.7 – Знос бандажа з урахування обточка Локомотива № 3 в залежності від побігу

Пробіг, км		Знос бандажа по колісних парах з урахуванням обточка, мм																
від ПР-3	0	1 л	1 п	2 л	2 п	3 л	3 п	4 л	4 п	5 л	5 п	6 л	6 п	7 л	7 п	8 л	8 п	
80000	80000	93	91,5	91	91,5	93	92	91,5	90,5	92	93	92,5	92	92,5	91,5	92,5	92,5	
80000	80000	89,5	88,5	87,5	87,5	88,5	88	85,5	85,5	87	88,5	88,5	88,5	88	88	89	89,5	
135000	135000	88,5	87,5	86,5	86,5	88	87,5	85	85	86	87,5	87,5	87,5	87	87	88	88,5	
135000	135000	85	84	85	85	83,5	84	85	85	83,5	84	84	84,5	87	87	88	88,5	
174000	174000	84,5	83,5	84,5	84,5	83	83,5	84	84	83	83,5	83	83,5	86	86	87	87,5	
174000	174000	84,5	83,5	78	78,5	77,5	78	76	75	79,5	80	80	79,5	83	82,5	84	83,5	
220000	220000	83,5	82,5	77	77,5	76	77	75,5	74,5	78,5	79	79	78,5	82	81,5	83	82,5	
220000	220000	83,5	82,5	77	77,5	72	75	75,5	74,5	74	74	74	74	77	78	81	81	
Сер. знач. по колісній парі		0,45	0,43	0,66	0,66	0,98	0,80	0,75	0,75	0,84	0,89	0,86	0,84	0,73	0,64	0,55	0,55	
Сер. знач. по локомотиву		0,71																

0032.175383.000.04 МР.ПЗ

Таблиця А.8 – Знос бандажа без урахування обточки Локомотива № 4 в залежності від побігу

Пробіг, км		Знос бандажа по колісних парах без урахування обточки, мм															
від ПР-3	від ТО-4	1 л	1 п	2 л	2 п	3 л	3 п	4 л	4 п	5 л	5 п	6 л	6 п	7 л	7 п	8 л	8 п
115000	45000	0,22	0,22	0,11	0,11	0,11	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11
134000	19000	0,26	0,26	0,53	0,53	0,26	0,26	0,26	0,53	0,26	0,53	0,53	0,26	0,53	0,26	0,26	0,26
157500	23500	0,21	0,21	0,21	0,21	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,21	0,43	0,43	0,21	0,43	0,43	0,43
193000	35500	0,28	0,28	0,14	0,28	0,28	0,28	0,42	0,28	0,28	0,14	0,28	0,14	0,14	0,14	0,28	0,28
253000	60000	0,25	0,25	0,17	0,08	0,17	0,25	0,42	0,17	0,17	0,33	0,08	0,08	0,08	0,08	0,33	0,33
Сер. знач. по колісній парі		0,25	0,25	0,23	0,24	0,25	0,29	0,35	0,32	0,27	0,29	0,29	0,20	0,21	0,20	0,28	0,28
Сер. знач. по локомотиву		0,26															

Таблиця А.9 – Знос бандажа з урахування обточки Локомотива № 4 в залежності від побігу

Пробіг, км		Знос бандажа по колісних парах з урахуванням обточки, мм															
від ПР-3	від ПР-3	1 л	1 п	2 л	2 п	3 л	3 п	4 л	4 п	5 л	5 п	6 л	6 п	7 л	7 п	8 л	8 п
0	70000	94	93,5	94	94,5	94	93,5	93,5	94	94	95,5	94	95	93	92	94	95
70000	70000	93	91,5	92	92	91,5	91	91,5	91,5	91	92	92	93	90,5	90	92	92
115000	90,5	90	90	92	92	89,5	90	90	90	90	90	92	93	90,5	90	92	92
115000	89,5	89	89	91,5	91,5	89	89	89	89	89	89	91,5	92,5	90	89,5	91,5	91,5
134000	89,5	89	89	89,5	89,5	86	86	87	87	86,5	87	89	89,5	89	88,5	89	89
134000	88,5	88	88,5	88,5	88,5	85,5	85,5	86,5	86	86	86	88	89	88	88	88,5	88,5
157500	87	87	88,5	88,5	88,5	85,5	85,5	86,5	86	86	85	88	89	89	88	88,5	88,5
157500	86,5	86,5	88	88	88	84,5	84,5	85,5	85	85	84,5	87	88	88,5	87	87,5	87,5
193000	86,5	86,5	88	88	88	83	83,5	83,5	84	85	84,5	87	88	88,5	87	87,5	87,5
193000	85,5	84,5	87,5	87	87	82	82,5	82	83	84	84	86	87,5	88	86,5	86,5	86,5
193000	85,5	84,5	85	84,5	84,5	82	80,5	82	83	83	83	85,5	85	88	87	84	84
253000	84,5	84	84	84	84	81	79	79,5	82	82	81	85	84,5	87,5	86,5	82	82
253000	80	79	81	81	81	77	76	78,5	78	78	77	80,5	81	83	81	83	82,5
Сер. знач. по колісній парі		0,55	0,57	0,51	0,53	0,67	0,69	0,59	0,63	0,63	0,73	0,53	0,55	0,40	0,43	0,43	0,49
Сер. знач. по локомотиву		0,56															

0032.175383.000.04 МР.ПЗ

Анк

Додаток Б

Залежності зносу колісних пар від пробігу

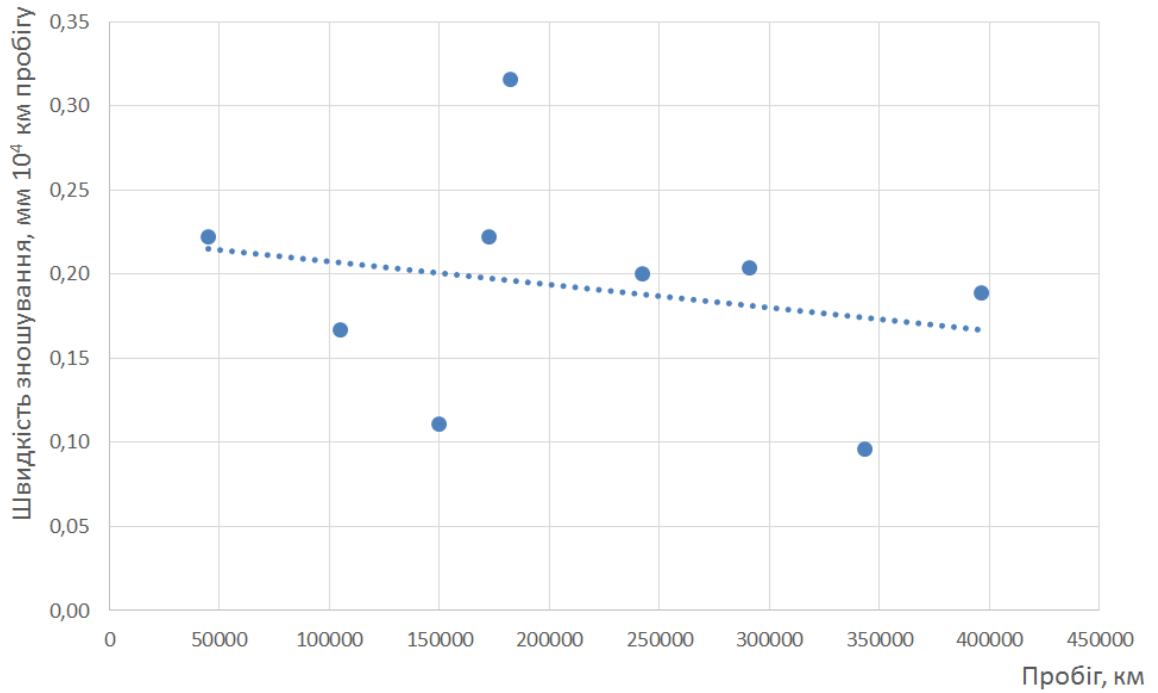


Рисунок Б.1 – Графік зношування бандажа 1п колісної пари локомотиву №1 в залежності від пробігу без урахування обточки

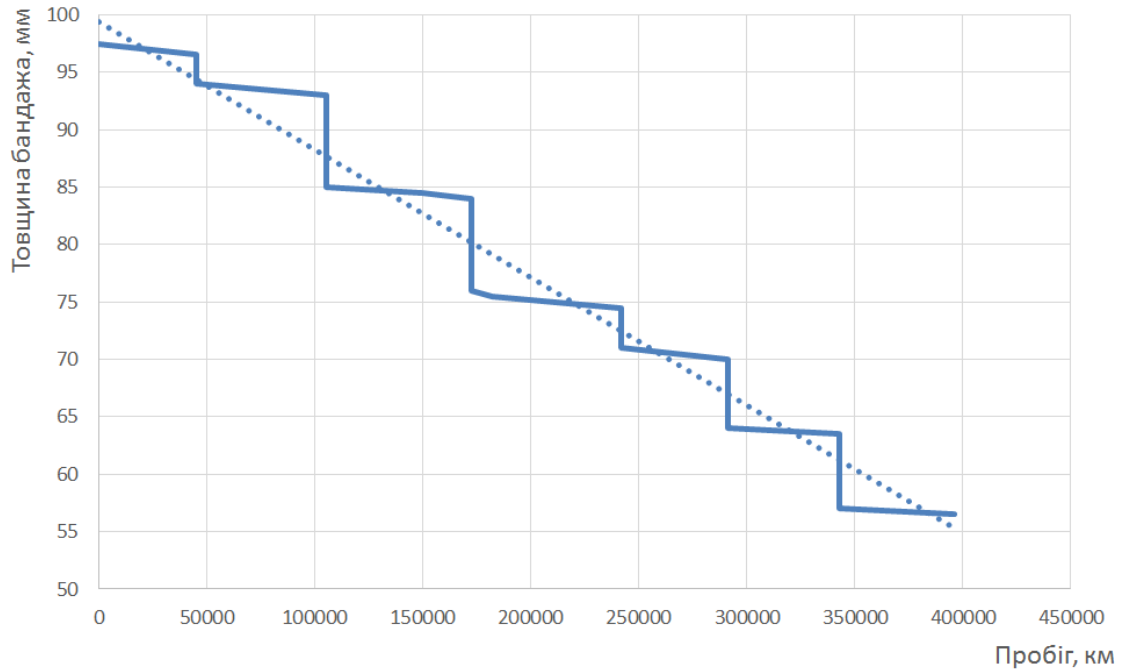


Рисунок Б.2 – Графік зношування бандажа 1п колісної пари локомотиву №1 в залежності від пробігу з урахування обточки

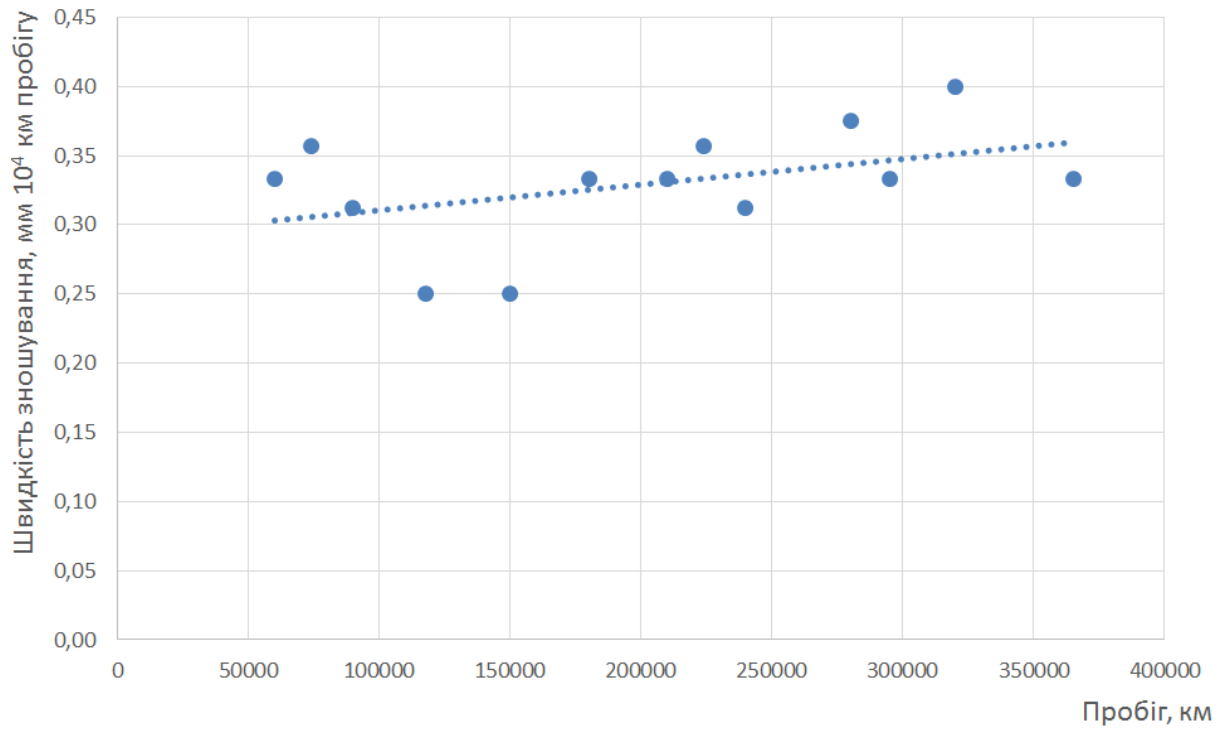


Рисунок Б.3 – Графік зношування бандажа 1п колісної пари локомотиву №2 в залежності від пробігу без урахування обточки

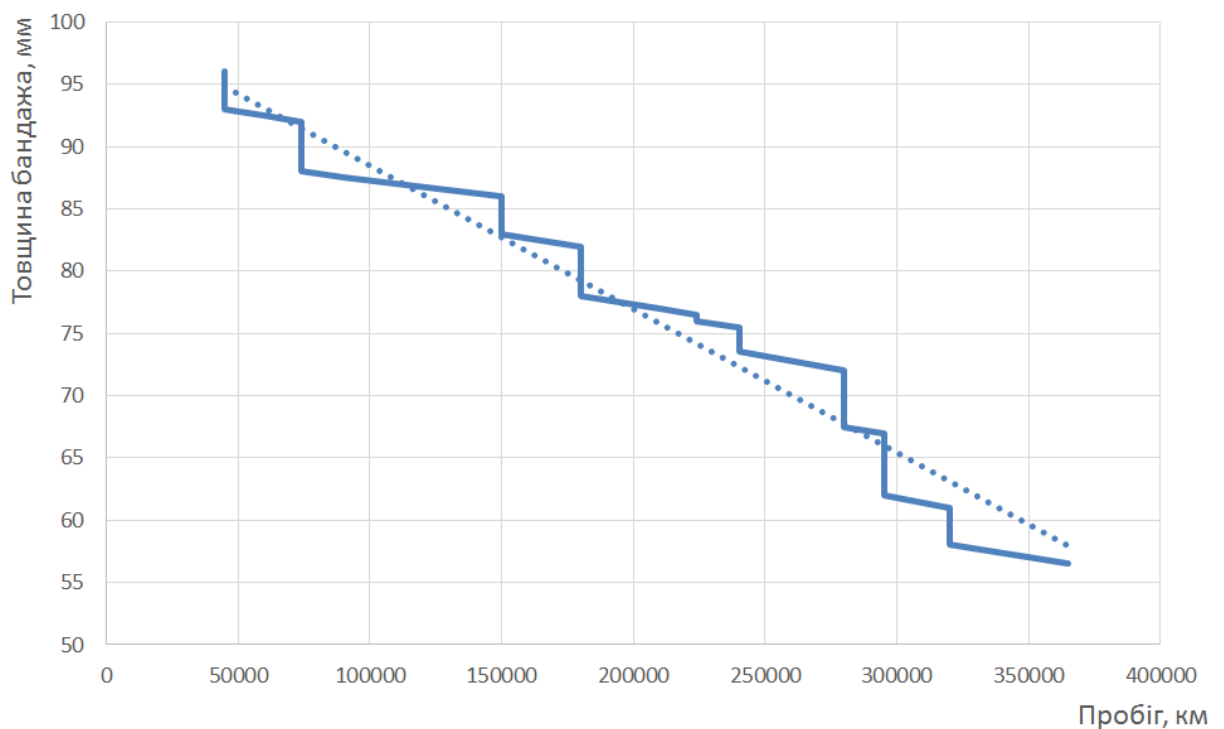


Рисунок Б.4 – Графік зношування бандажа 1п колісної пари локомотиву №2 в залежності від пробігу з урахування обточки

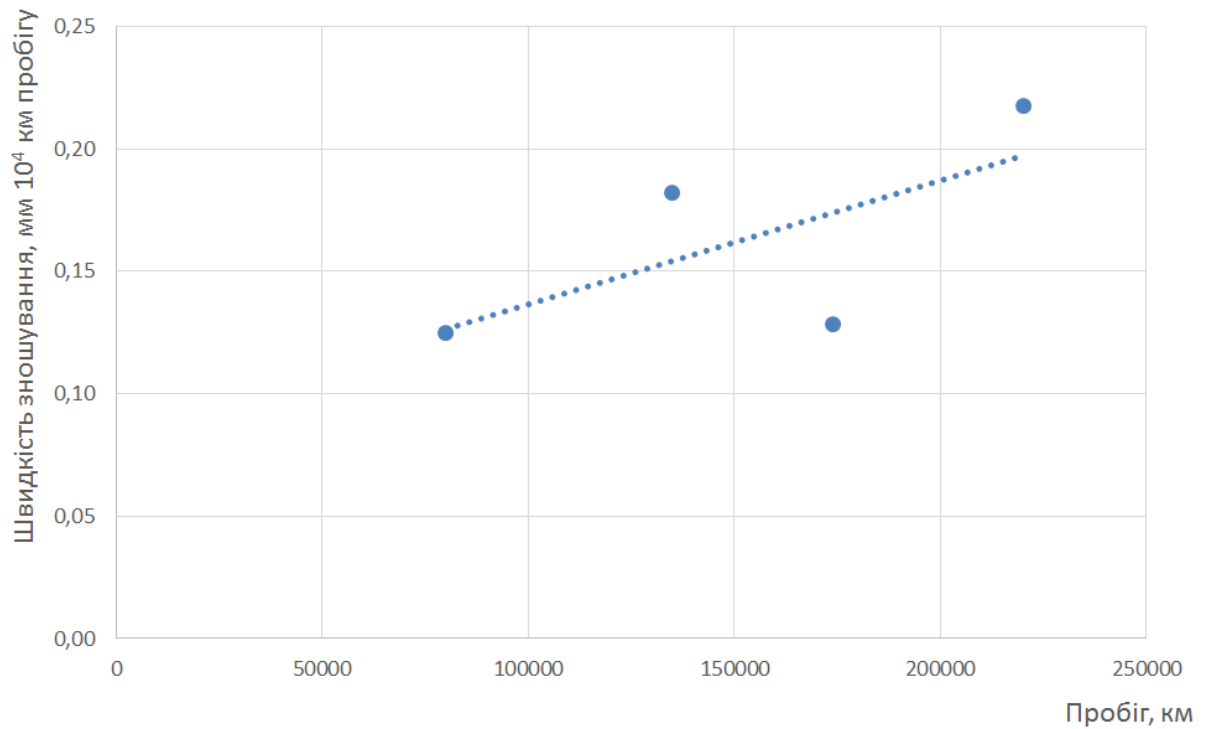


Рисунок Б.5 – Графік зношування бандажа 1п колісної пари локомотиву №3 в залежності від пробігу без урахування обточки

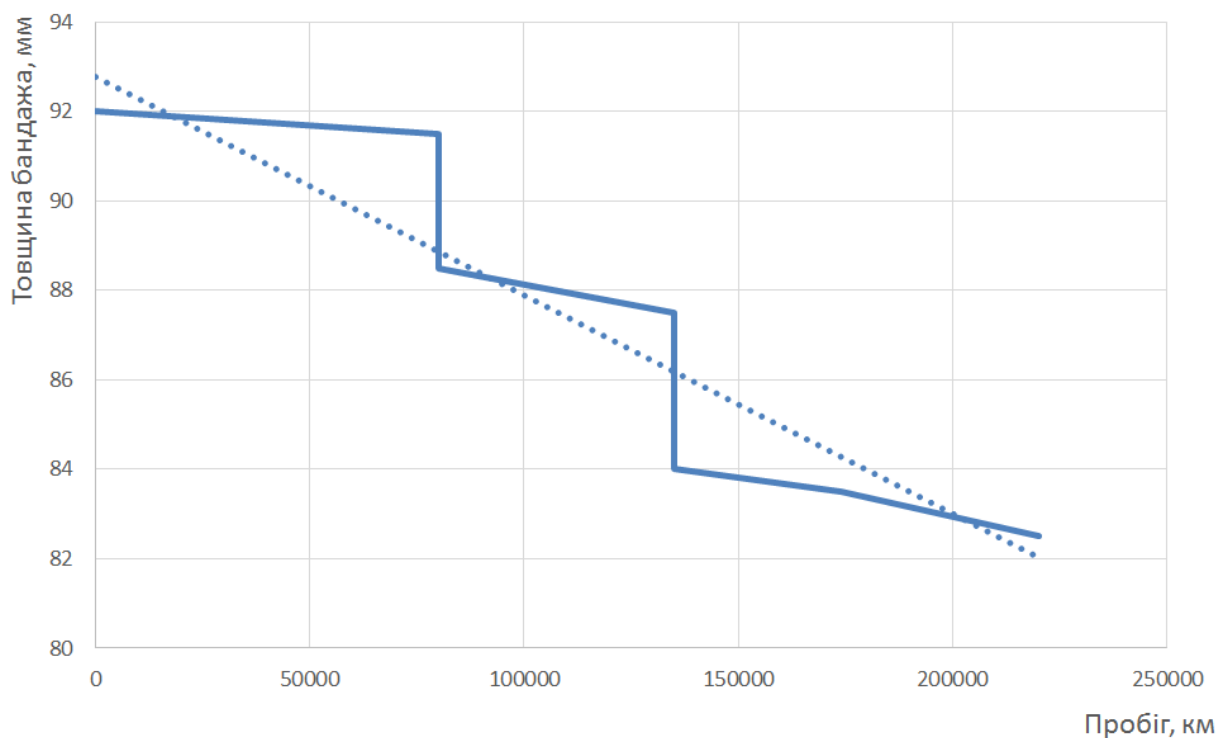


Рисунок Б.6 – Графік зношування бандажа 1п колісної пари локомотиву №3 в залежності від пробігу з урахування обточки

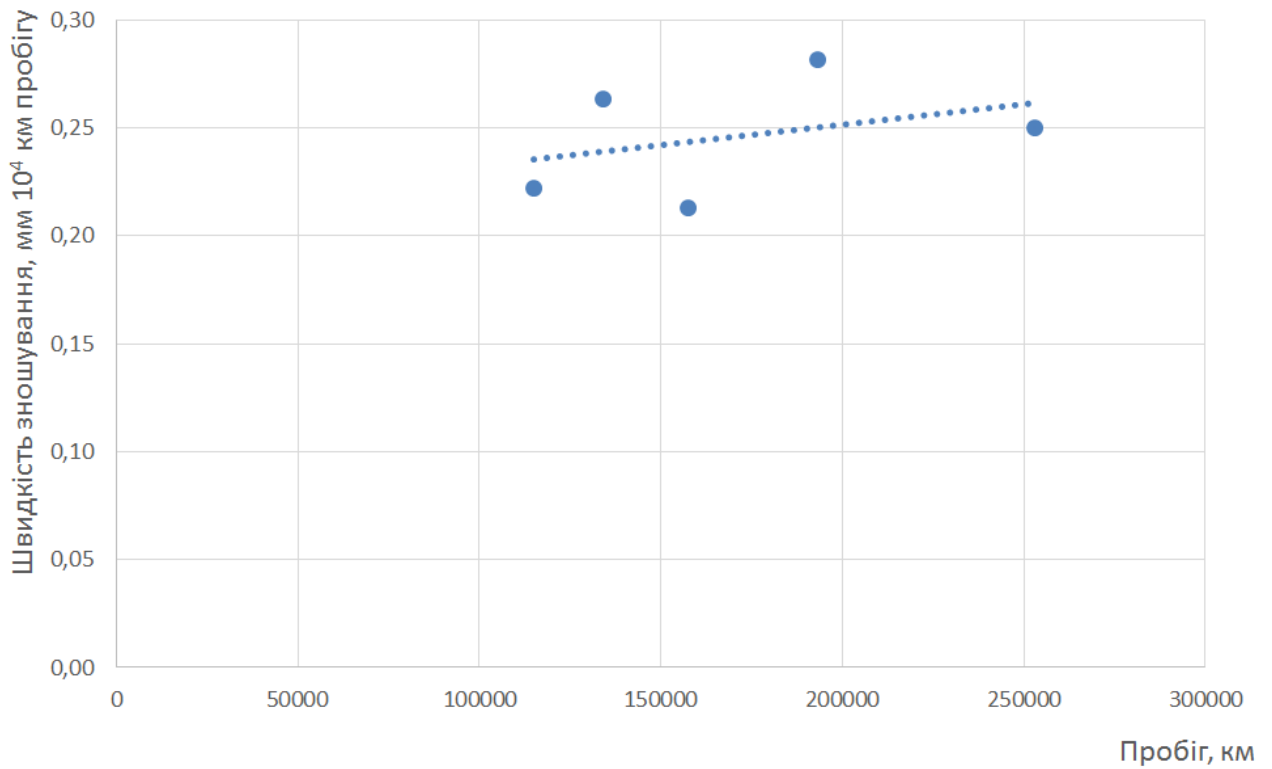


Рисунок Б.7 – Графік зношування бандажа 1п колісної пари локомотиву №4 в залежності від пробігу без урахування обточки

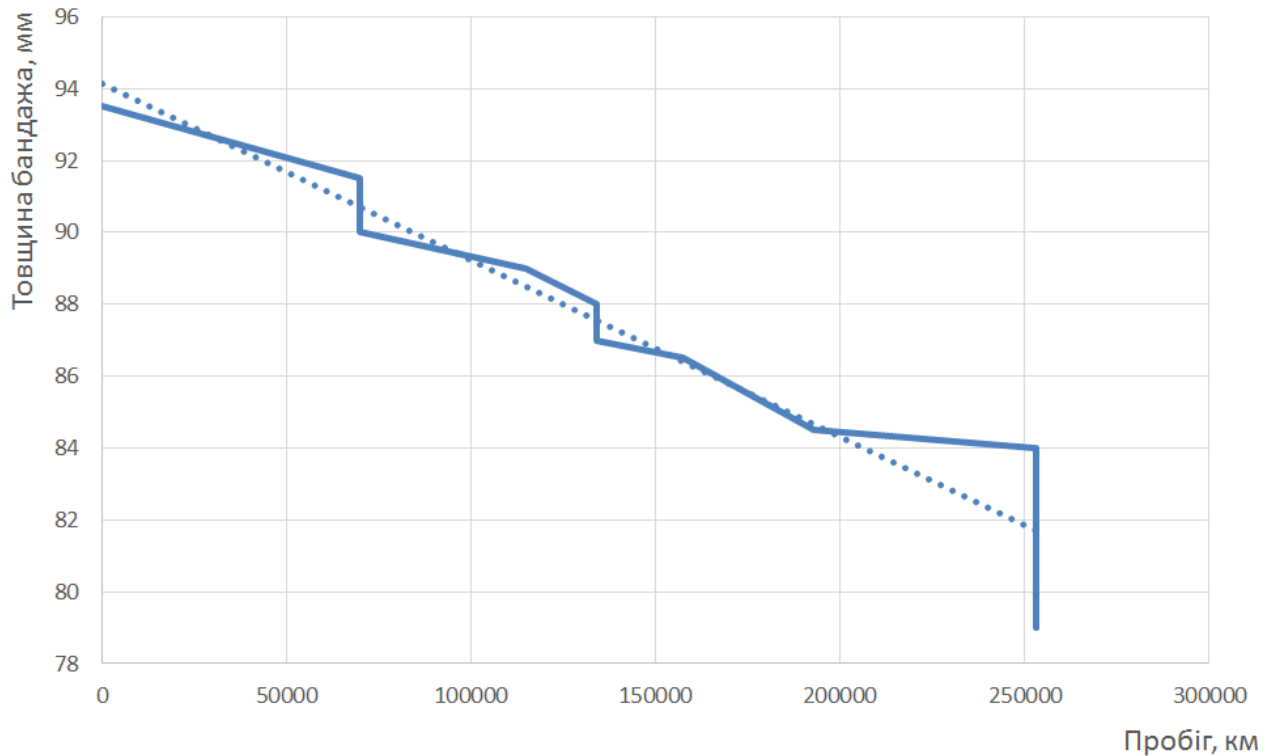


Рисунок Б.8 – Графік зношування бандажа 1п колісної пари локомотиву №4 в залежності від пробігу з урахування обточки