

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

Факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій,
мехатроніки і робототехніки
Кафедра механічної інженерії та автомобільного транспорту

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

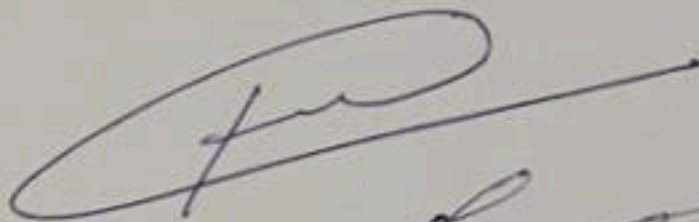
до кваліфікаційної роботи
освітнього ступеня магістр

Галузь знань 27 - «Транспорт»
Спеціальність 274 «Автомобільний транспорт»

на тему: «Підвищення ефективності ремонту великовантажних самоскидів на
основі розмірного аналізу»

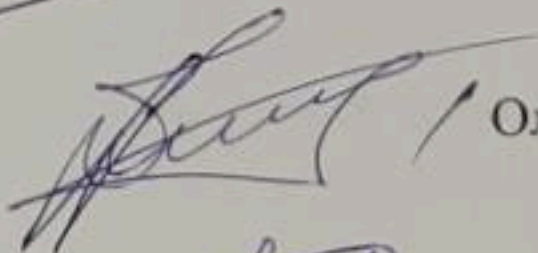
Виконав: студент групи ААГ - 22м *Горпиніч* Максим ГОРПИНІЧ

Керівник



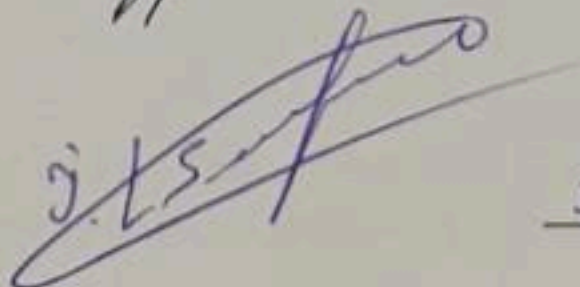
Володимир ШУМЛЯКІВСЬКИЙ

Завідувач кафедри



Олександр МЕЛЬНИК

Рецензент



Ігор Шепеленко

Житомир - 2025 р.

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»**

Факультет: комп'ютерно-інтегрованих технологій, мехатроніки і робототехніки
Кафедра: механічної інженерії та автомобільного транспорту
Освітній ступінь: «магістр»
Галузь знань: 27 «Транспорт»
Спеціальність: 274 - Автомобільний транспорт»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МІ та АТ

Олександр МЕЛЬНИК

«06» 10 2025р.

ЗАВДАННЯ

до кваліфікаційної роботи освітнього ступеня магістр

Горпиніча Максима Сергійовича

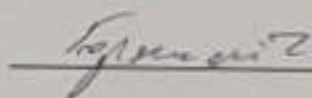
- 1.Тема роботи:** «Підвищення ефективності ремонту великовантажних самоскидів на основі розмірного аналізу» затверджена наказом вищого навчального закладу від «6» жовтня 2025р. №569-с
- Керівник роботи:** к.т.н., доц. Володимир ШУМЛЯКІВСЬКИЙ
- 2. Строк подання студентом завершеної роботи:** 11.12.2025 р.
- 3. Вихідні дані до роботи:** довідникова література, наукові розробки та публікації, державні стандарти.
- 4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):** вступ, аналіз стану питання, теоретичні та методичні підходи до визначення гарантійних термінів експлуатації на основі розмірного аналізу, експериментальні дослідження, результати експериментальних досліджень, економічна доцільність, список використаних джерел.
- 5. Пояснювально - роздавальний матеріал (презентація) - 20 слайдів.**

Дата видачі завдання « 10 » вересня 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів	Примітка
1.	РОЗДІЛ 1. Аналіз стану питання	15.09.2025	виконано
2.	РОЗДІЛ 2. Теоретичні та методичні підходи до визначення гарантійних термінів експлуатації на основі розмірного аналізу	20.10.2025	виконано
3.	РОЗДІЛ 3. Експериментальні дослідження	17.11.2025	виконано
4.	РОЗДІЛ 4. Результати експериментальних досліджень	25.11.2025	виконано
5.	РОЗДІЛ 5. Економічна доцільність впровадження	30.11.2025	виконано
5.	Оформлення роботи	06.12.2025	виконано
6.	Рецензування	11.12.2025	виконано
7.	Захист роботи	12.12.2025	виконано

Студент



Максим ГОРПИНІЧ

Керівник роботи



Володимир ШУМЛЯКІВСЬКИЙ

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна магістерська робота на тему: «Підвищення ефективності ремонту великовантажних самоскидів на основі розмірного аналізу» виконана студентом групи ААГ-22м факультету комп'ютерно-інтегрованих технологій, мехатроніки і робототехніки Державного університету «Житомирська політехніка» Горпинічем Максимом Сергійовичем, керівник - к.т.н. Шумляківський В.П.

Робота складається із вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаної літератури.

Метою роботи стало підвищення ефективності капітального ремонту шляхом розробки науково обґрунтованої методичної бази. Для цього розроблено теоретичний та методичний апарат, ключовим елементом якого є математична модель ресурсних відмов, що базується на прогнозуванні зносу геометричних характеристик точності агрегатів. Ця модель дозволяє раціонально обґрунтовувати терміни експлуатації та відсувати межу гарантійного напрацювання відновлених вузлів.

Основні результати роботи були отримані на прикладі капітального ремонту автоматичної коробки перемикання передач (АКПП) самоскида Komatsu HD7857. Доведено, що застосування запропонованого розрахункового підходу є економічно доцільним, оскільки забезпечує зниження витрат на запасні частини на 56% порівняно зі стандартним підходом. При цьому якість відновлення зберігається на високому рівні, забезпечуючи гарантійне напрацювання у межах 75–80% ресурсу нового агрегату.

Розроблена методика має пряму практичну цінність і може бути використана інженерно-технічним персоналом гірничодобувних та транспортних підприємств для переходу до планових та науково обґрунтованих ремонтних рішень, що суттєво підвищує надійність техніки та її економічні показники.

Ключові слова: великовантажний самоскид, ремонт, технічне обслуговування, технічні характеристики, ресурсна відмова, математична модель, гарантійне напруцювання.

ABSTRACT

Master's thesis on the topic: "Improving the efficiency of heavy-duty dump truck repairs based on dimensional analysis", performed by a student of the AAG-22m group, Faculty of Computer-Integrated Technologies, Mechatronics and Robotics of the Zhytomyr Polytechnic State University, Gorpynich Maksym Serhiyovych, supervisor: Ph.D. Shumlyakivskyi V.P.

The work consists of an introduction, five chapters, conclusions, and a list of used literature.

The aim of the work was to increase the efficiency of major repairs by developing a scientifically sound methodological base. For this purpose, a theoretical and methodological apparatus was developed, the key element of which is a mathematical model of resource failures, which is based on the prediction of wear of the geometric characteristics of the accuracy of the units. This model allows rationally justifying the terms of operation and pushing back the warranty period of the restored units.

The main results of the work were tested on the example of a major overhaul of the automatic transmission (ATC) of a Komatsu HD785-7 dump truck. It was proven that the application of the proposed calculation approach is economically feasible, since it provides a reduction in spare parts costs by 56% compared to the standard approach. At the same time, the quality of the restoration is maintained at a high level, ensuring warranty service life within 75–80% of the resource of the new unit. The developed methodology has direct practical value and can be used by engineering and technical personnel of mining and transport enterprises to transition to planned and scientifically based repair solutions, which significantly increases the reliability of the equipment and its economic indicators.

Key words: heavy-duty dump truck, repair, maintenance, technical specifications, resource failure, mathematical model, warranty period.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1. Аналіз стану питання.....	10
1.1 Постановка проблеми дослідження.....	10
1.2 Методологія існуючої системи ремонту великовантажних самоскидів.....	11
1.2.1 Причини зміни параметрів технічного стану агрегатів великовантажних самоскидів.....	11
1.3 Методологія розмірного аналізу у завданнях підвищення ефективності ремонтних впливів.....	16
1.3.1 Розвиток теорії розмірного аналізу у сфері ремонтного виробництва.....	16
Висновки до розділу	19
РОЗДІЛ 2. Теоретичні та методичні підходи до визначення гарантійних термінів експлуатації на основі розмірного аналізу.....	20
2.1 Загальний підхід та формування цільової функції.....	20
2.2 Способи опису будови складних технічних систем.....	23
2.3 Опис структурної моделі елементів великовантажного самоскида.....	27
Висновки до розділу	32
РОЗДІЛ 3. Експериментальні дослідження.....	33
3.1 Загальна методика експериментальних досліджень.....	33
3.1.1 Структура методики експериментальних досліджень.....	33
3.1.2 Об'єкти та напрямки експериментальних досліджень.....	34
3.2 Методика проведення експериментальних досліджень та збору статистичної інформації.....	37
3.2.1 Обґрунтування плану експериментальних досліджень.....	37
3.2.2 Натурний експеримент.....	39
3.3 Методика оцінки адекватності імітаційної математичної моделі ресурсних відмов.....	41
Висновки до розділу	44

РОЗДІЛ 4. Результати експериментальних досліджень.....	45
4.1 Аналіз структури та причин відмов агрегатів, що надходить у поточний чи капітальний ремонт.....	45
4.2 Результат напрацювання на відмову, отриманий модельним шляхом і під час натурного експерименту.....	50
4.3 Аналіз результатів математичного моделювання гарантійного напрацювання.....	62
Висновки до розділу	66
РОЗДІЛ 5. Економічна доцільність впровадження.....	67
5.1 Порівняння витрат при гарантійних і розрахункових напрацюваннях.....	67
Висновки до розділу	73
ВИСНОВКИ.....	74
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	75

ВСТУП

Кар'єрні самоскиди (гірничотransпортне устаткування) є невід'ємною частиною розробки родовищ відкритим способом. У процесі експлуатації гірничотransпортного обладнання виникають неприпустимі відмови у роботі, що інтуїтивно впливають на надійність [1]. Ці відмови можуть виникнути внаслідок недотримання регламенту технічного обслуговування та ремонту [2], капітальних ремонтів, а також в результаті фізичного зносу поверхонь деталей агрегатів.

При виявленні відмови, агрегати піддають ремонтним впливам чи замінюють новими, що позначається збільшенням витрат на експлуатацією гірничотransпортного устаткування[3].

В якійсь мірі зниження витрат на проведення ремонту гірничотransпортного устаткування та підвищення його ресурсності, вираженої в експлуатаційних показниках, можуть бути реалізовані на основі відновлення поверхонь деталей агрегатів, що сполучаються. Практика показує, що відновлення поверхонь деталей агрегатів гірничотransпортного обладнання, що сполучаються, при використанні нестандартних методів і підходів на певну частку ймовірності скорочує простої, витрата нових запасних частин, а в індивідуальних випадках збільшує міжремонтний інтервал.

У процесі експлуатації гірничотransпортного устаткування (великовантажних самоскидів) в агрегатах відбувається нерівномірне зношування поверхонь деталей, інтенсивність зношування яких може відрізнятися через відмінність складу і груп поверхонь. Структура розмірної моделі агрегату з кожним разом змінюється за рахунок заміни деталей несправної (що відмовила) деталі в процесі ремонту. Тому при кожному проведенні ремонту з частковою заміною деталей відбувається перерозподіл розмірних параметрів точності в самій структурі агрегату. У зв'язку з цим перехід до більш складних процесів ремонтних впливів, включаючи економічну складову породжує необхідність створення або використання нового підходу та технологій ремонтних впливів на агрегати техніки, що обслуговується, спрямованих для забезпечення максимальних

ресурсних умов у процесі їх експлуатації. Розробка методики призначення гарантійних термінів експлуатації з урахуванням розмірного аналізу вважається актуальним завданням.

Мета роботи є підвищення гарантійних термінів експлуатації після капітального ремонту агрегатів великовантажних самоскидів шляхом розробки і впровадження науково обґрунтованої методики на основі розмірного аналізу.

Для досягнення поставленої мети у роботі поставлені такі задачі:

- дослідити існуючу проблематику в системі ремонту великовантажних самоскидів, яка унеможливорює точне встановлення гарантійних термінів на основі ігнорування розмірних параметрів агрегатів;
- розробити теоретичні та методичні підходи, включаючи математичну модель ресурсних відмов на основі розмірного аналізу, для обґрунтованого визначення раціональних гарантійних термінів експлуатації агрегатів;
- провести оцінку економічної доцільності та підтвердити ефективність запропонованого розрахункового підходу до капітального ремонту агрегатів порівняно зі стандартною методикою.

Об'єкт дослідження. Ремонтні дії, що відновлюють працездатність агрегатів великовантажних самоскидів.

Предмет дослідження. Закономірності, що поєднують зміну геометричних параметрів деталей та поверхонь агрегатів, щодо часу з питомими витратами на їх експлуатацію.

Методи дослідження. Дослідження полягає у розробці теоретичних положень підвищення ефективності функціонування великовантажних самоскидів.

Практична цінність дослідження полягає в наступному: Застосування запропонованого розрахункового підходу забезпечує пряме зниження витрат на запасні частини до 56% при капітальному ремонті ключових агрегатів (наприклад, АКПП Komatsu HD785-7), роблячи ремонт значно вигіднішим порівняно зі стандартними методиками.

РОЗДІЛ 1. Аналіз стану питання

1.1 Постановка проблеми дослідження

Роботи авторів відомі у науковому колі присвячені таким темам як діагностика, технічне обслуговування та ремонт техніки, описують проблематику визначення параметрів технічного стану агрегатів. Дані дослідження були розглянуті на окремих деталях або групах сполучення, які пов'язують індивідуальні структурні параметри з параметрами, отримані в ході діагностування агрегату. Ми ж припускаємо, кожен агрегат слід розглядати, як систему пов'язаних між собою геометричних параметрів, сконфігурованих у системі розмірної моделі особливим чином.

У процесі експлуатації великовантажних самоскидів в агрегатах відбувається нерівномірне зношування поверхонь деталей, інтенсивність зношування яких може відрізнятися через відмінність складу і груп поверхонь. Структура розмірної моделі агрегату з кожним разом змінюється за рахунок заміни деталей несправної (що відмовила) деталі в процесі ремонту. Тому при кожному проведенні ремонту з частковою заміною деталей відбувається перерозподіл розмірних параметрів точності в самій структурі агрегату. У зв'язку з цим перехід до більш складних процесів ремонтних впливів, включаючи економічну складову породжує необхідність створення або використання нового підходу та технологій ремонтних впливів на агрегати техніки, що обслуговується, спрямованих для забезпечення максимальних ресурсних умов у процесі їх експлуатації.

У зв'язку з цим розробка методики призначення гарантійних термінів експлуатації на основі розмірного аналізу є актуальним завданням. У цій роботі розглянуто результати досліджень моделі прийняття рішення, щодо необхідності проведення ремонтів агрегатів кар'єрних самоскидів.

1.2 Методологія існуючої системи ремонту великовантажних самоскидів

У нашій країні прийнята планово-попереджувальна система технічного обслуговування та ремонту автомобілів, регламентована «Положенням про технічне обслуговування та ремонт рухомого складу автомобільного транспорту»[4], яка являє собою сукупність засобів, нормативно-технічної документації та виконавців, необхідних для забезпечення працездатного стану рухомого складу. Даною системою передбачає шляхом проведення планово-попереджувальних робіт щодо його технічного обслуговування ремонту. Планово-попереджувальний характер системи технічного обслуговування та ремонту визначається плановим та примусовим (через встановлені пробіги або проміжки часу роботи рухомого складу) виконанням контрольно-діагностичних операцій із подальшим виконанням за потребою необхідних робіт.

Ремонтні підприємства прагнуть зниження собівартості ремонту автомобілів і агрегатів. При цьому необхідно забезпечити гарантії споживачів у післяремонтному ресурсі.

У цій роботі виконано огляд, який стосується поліпшення процесу ремонту вузлів і агрегатів великовантажних самоскидів. На мій погляд можна виділити два основні напрямки:

- вивчення причин зміни параметрів технічного стану агрегатів великовантажних самоскидів;
- аналіз закономірностей зміни цих параметрів та методів математичного прогнозування від характеристик зношування агрегатів та механізмів.

1.2.1 Причини зміни параметрів технічного стану агрегатів великовантажних самоскидів

Закладені при проектуванні та виробництві вузлів та агрегатів великовантажних самоскидів розмірні параметри змінюються у процесі збільшення напруцювання (у мотогодинах), а також умов експлуатації.

Технічний стан вузлів та агрегатів великовантажних самоскидів можна описати наступними діями [5; 6; 7; 8]: кавітація, термічне руйнування, знос поверхні, що сполучається, механічне руйнування, збільшені або зменшені зазори, послаблені вал або отвори підшипників і втулок. Багато роботи з дослідження цих показників, вказують на інтенсивність зміни поверхонь деталей агрегатів, що сполучаються, в процесі їх експлуатації.

Зміна технічного стану сполучень деталей агрегатів, у процесі їх експлуатації характеризується значним розсіюванням розмірних параметрів. Коефіцієнт варіації при цьому може розташовуватись у межах 0,3-0,4. Такі значення говорять про невелику тісноту зв'язку експериментальних даних та аналітичних (експоненційних) залежностей. За такого розкиду випадкових величин важко визначити напрацювання до критичного стану, у якому станеться відмова деталі агрегату чи агрегату загалом[9]. Більше того, для ефективного застосування методик прогнозування технічного стану за різними критеріями потрібна низка нормативів:

- нормативне значення (розмір) параметра;
- граничне, допустиме значення (розмір) прогнозованого параметра;
- періодичність;
- трудомісткість та інші.

Для розробки методів прогнозування потрібні залежності, які пов'язуватимуть параметри технічного стану агрегату з напрацюванням.

При розгляді питань залежності зношування поверхні деталей у процесі їх експлуатації необхідно приділити увагу на класифікацію відмов за системною ознакою. Нижче на рис. 1.1 наведено приклад причин простою великовантажних самоскидів за 2024 рік на одному з гірничовидобувних підприємств України.

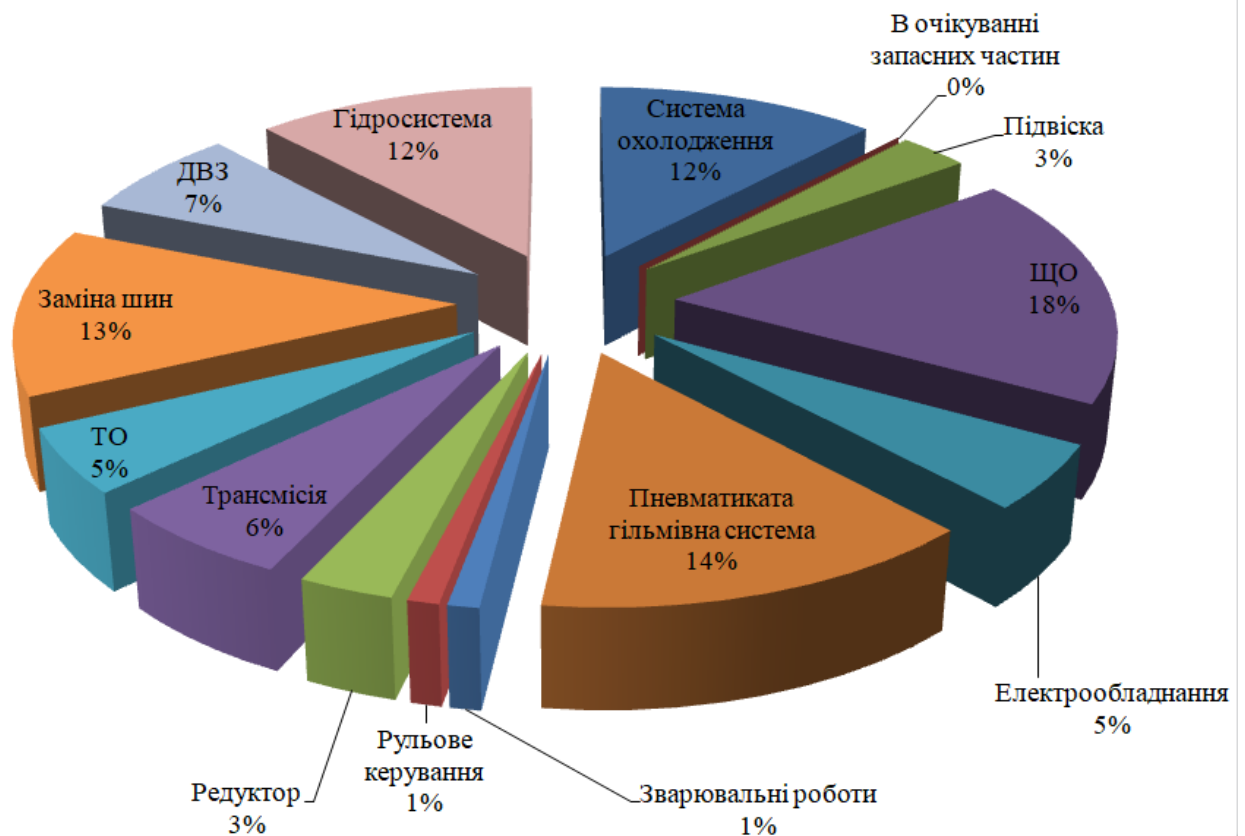


Рис. 1.1 - Причини простою великовантажних самоскидів, аналіз за 2024 рік

У ході збору та конспектування даних про несправності та відмови вузлів та агрегатів великовантажних самоскидів, було проведено аналіз причин виникнення відмов. Він показав, що 68% відмов агрегатів трансмісії посідає знос деталей; 20% відмов агрегатів трансмісії посідає втома металів; 12% посідає раптові відмови.

Якщо дивитися з боку трудомісткості усунення відмов, то 22,3% відмов відноситься до 1 групи складності та розташовані на першому рівні ієрархії, що усуваються ремонтом або заміною деталей [10].

До 2 групи складності належить 66,4% відмов, усуваються ремонтом або заміною окремих елементів (навісного) агрегату без його розбирання.

До третьої групи складності належать ті 11,3% відмов, які неможливо усунути без повного розбирання агрегату.

У ході спостережень на горновидобувних підприємствах Житомирської області, за експлуатацією великовантажних самоскидів однакових за

структурою та вантажопідйомністю середнє напрацювання на відмову агрегатів відрізняється, і не завжди збігається з рекомендованими заводом виробником, що може свідчити про різні експлуатаційні використання рекомендованих мастильних матеріалів.

Шляхом збору статистичних даних про ремонти, напрацювання агрегатів великовантажних самоскидів на одному з гірничовидобувних підприємств зробили імітацію необхідних видів ремонтних впливів на деталі агрегатів, з метою пошуку способу підвищення ресурсу деталей агрегату в період його життєвого циклу.

Для прикладу на рис. 1.2 наведено аналітичні дані гірничовидобувного підприємства України про кількість відмов агрегатів великовантажних самоскидів після проведення капітальних ремонтів, щодо нормативного напрацювання агрегату за 2024 рік.

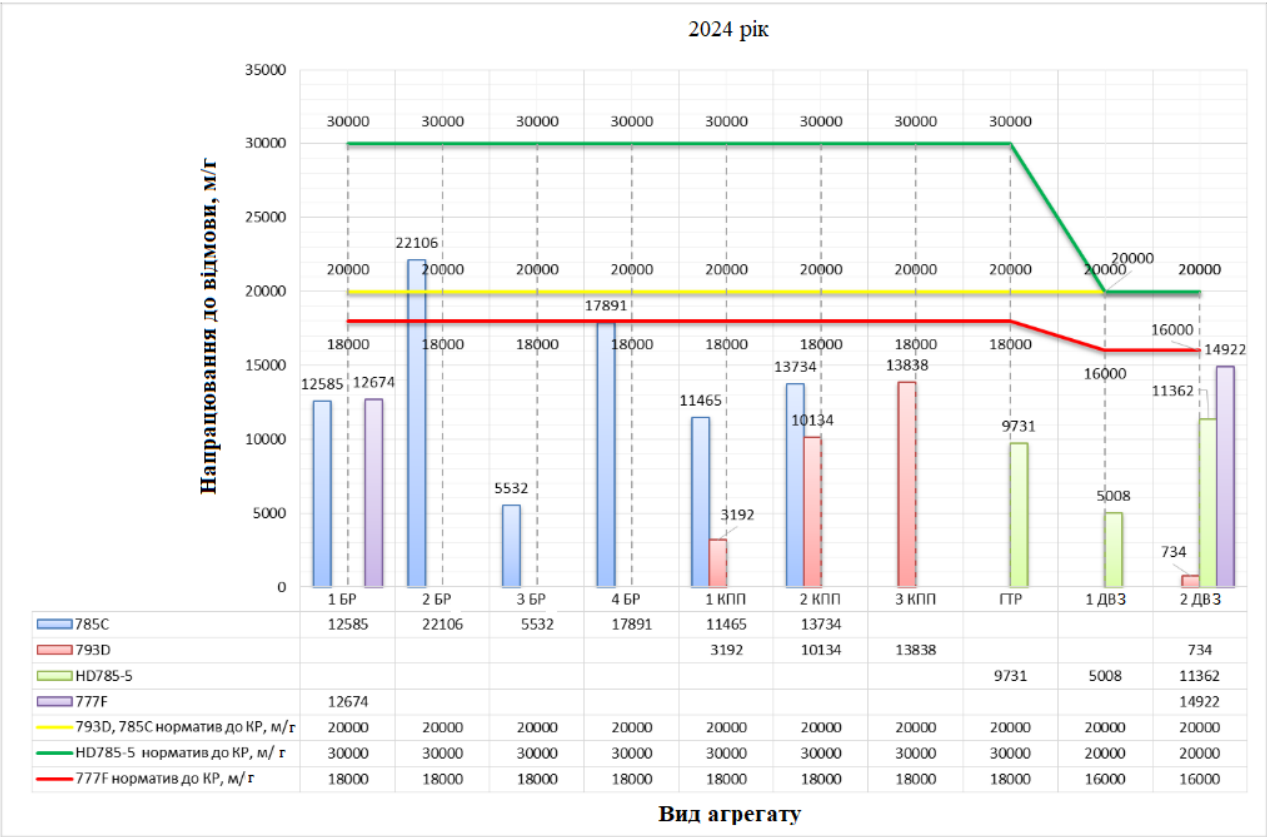


Рис. 1.2 - Кількість відмов агрегатів після проведення капітальних ремонтів за 2024 рік

Аналізуючи отримані дані можна сказати, що залишковий ресурс агрегатів після ремонтних впливів невисокий, їх аварійних відмов 92%, відмова у гарантійний період 8%, тобто 92% агрегатів не виходжують свій нормативний термін роботи закладеним виробником, а 8% агрегатів взагалі відмовляють у гарантійний період і рис. 1.3 (а) і відмови за видами агрегатів рис. 1.3 (б).

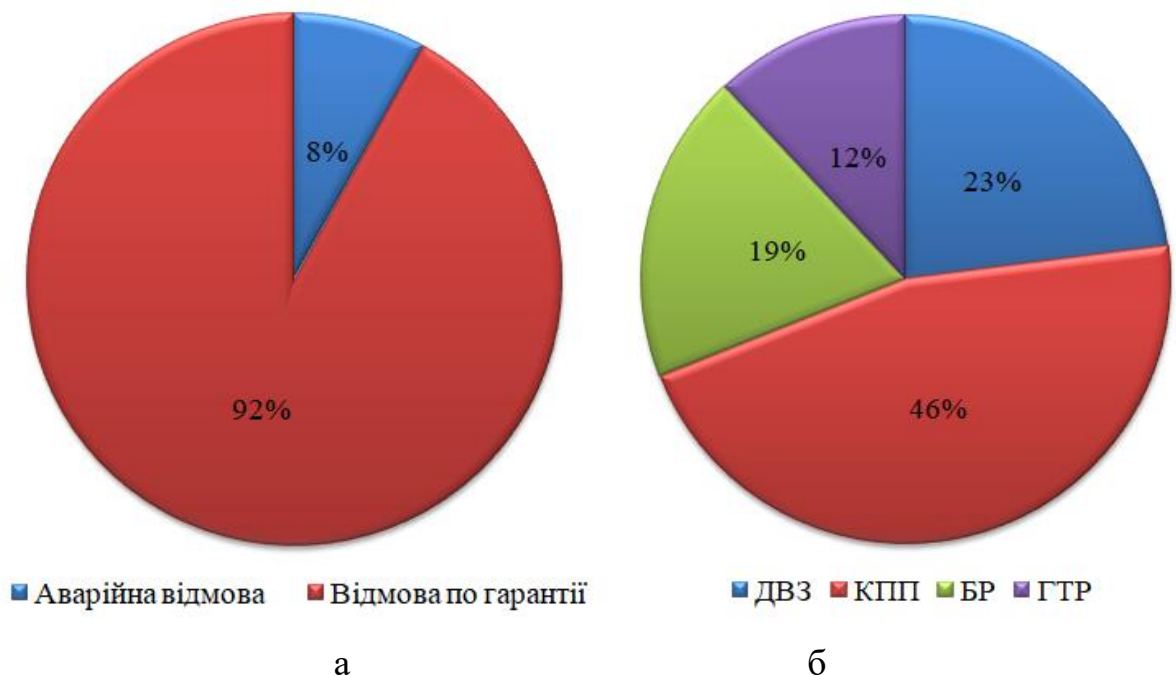


Рис. 1.3 - Кількість відмов агрегатів після проведення ремонтних дій за 2024 рік (а) та відмови за видами агрегатів (б), у відсотковому співвідношенні

Це може вказувати на низьку кваліфікацію персоналу або безграмотне проведення процесу дефектації агрегату перед його ремонтом і після збирання. Для того щоб мінімізувати втрати треба підійти з наукової точки зору до процесу прийняття рішення про необхідність проведення певних видів ремонтних впливів агрегатів і пропонуються вищеописані механізми формування моделі надійності агрегатів на основі величин розмірних ланцюгів і структуру зносу розмірної моделі агрегату, які в кінцевому підсумку скоротять незаплановані простой обладнання, витрати замовника та піднімуть на певний рівень виконавця, який повинен приділяти увагу не тільки ремонту, а

й науковому підходу до виконання поставленого завдання.

З величезної кількості процесів, які безпосередньо чи опосередковано призводять до відмови деталей, вузлів і агрегатів, необхідно приділити особливу увагу розвитку випадкових методів оцінки ресурсу, що пов'язані з зносом і втомою.

Аналіз даних статистики експлуатаційної надійності агрегатів великовантажних самоскидів показує, що з дотриманні певних умов експлуатації є певну кількість деталей агрегату, які часто допускають відмови, у своїй напрацювання агрегату залишається незмінним, що тягне за собою фінансові і трудові витрати. У середньому операційні витрати на проведення ТО та ПР, підтримки технічної справності становлять близько 57%, капітальні витрати (безпосередні витрати на ремонт агрегатів) залишають близько 43%.

Деталі, які частіше за інших допускають відмови, називають «лімітуючими» надійність, або «критичними» за надійністю [11]. Пошук і виявлення деталей, що лімітують надійність, має першорядне значення з погляду вдосконалення методів розрахунку надійності, оскільки це дозволяє скоротити обсяг обчислень під час проектування приблизно 10 раз [12].

1.3 Методологія розмірного аналізу у задачах підвищення ефективності ремонтних впливів

1.3.1 Розвиток теорії розмірного аналізу у сфері ремонтного виробництва

У період експлуатації великовантажного самоскида відбувається втрата його експлуатаційних параметрів, закладених під час проектування та виробництва. У певний момент вузли, агрегати та механізми великовантажного самоскида починають поступово чи миттєво виконувати свої поставлені завдання, відбувається несправність чи відмова. Виникає неминучість у відновленні їх спочатку стану шляхом ремонтних впливів. Відновленню піддаються всі сполучні поверхні деталей вузлів, механізмів і

агрегатів, в результаті зносу яких вузол, механізм або агрегат перейшов у стан відмови або чекає відмови через невелике напрацювання. Насамперед необхідно відновити значення точнісних характеристик деталей, і навіть їх взаємні сполучення.

Нормована точність у типових сполученнях складальних одиниць техніки, що ремонтується, досягається шляхом застосування різних методів забезпечення точності. Насамперед це методи повної та часткової взаємозамінності. Найчастіше такі методи застосовуються за відновлення властивостей посадок сполук за допомогою нарощування шару матеріалу. В інших випадках застосовують ряд інших з відомих стандартних методів досягнення точності замикаючих ланок [13].

Досить широко використовуються методи групового підбору (групової взаємозамінності) та регулювання [14]. Більше того, у деяких особливих випадках при відновлювальному ремонті застосовуються методи, які не входять до списку стандартизованих методів, які застосовуються у промисловому виробництві виробів машинобудування. Ці методи використовуються найчастіше в ремонтному виробництві. У деяких випадках використовуються метод індивідуального підбору деталей при складанні вузлів і агрегатів [15], основний сенс якого полягає в машинному підборі до однієї деталі, що характеризується набором певних розмірів, другої деталі, з'єднаної з шуканим розміром, який призначається виходячи із забезпечення необхідних характеристик точності сполучення поверхонь, що утворюється. В даний час все більше набирає популярність метод досягнення необхідної точності матеріалами, що компенсують [16], суть якого полягає в застосуванні в якості компенсаторів сплавів легких кольорових металів або матеріалів, що складаються з полімерів.

На сьогоднішній день набагато менш слабо розроблена методологія відновлення точності складних, множинних сполук.

Наукові праці з розробки та застосування методів розрахунку розмірних ланцюгів у технологічному процесі ремонту машин передовими вченими

нашої країни можна досить умовно розділити на розробки, виконані вченими, що належать до "сільськогосподарської" школи, і розробки, запропоновані колом вчених, що утворюють "автомобільну" школу. автомобільно-дорожній інститут (технічний університет). роботу над актуальними проблемами, виявленими їх наставником [17].

У процесі відновлення номінальних параметрів точності замикаючих ланок складальних розмірних ланцюгів агрегатів та механізмів на етапі ремонту застосовується весь спектр відомих нормованих методів досягнення точності [18]. На відміну від досить простих сполучення, при яких у розрахунках перевага віддавалася методам повної та часткової взаємозамінності, то в конструктивно складних сполуках найчастіше застосовуються методи групового підбору (взаємозамінності), припасування та регулювання [19; 20; 21].

Розроблений на основі об'єднання методів групового підбору та регулювання за допомогою жорстких компенсаторів метод селективного регулювання створений з метою найбільш повного отримання нормованої точності замикаючої ланки. З метою досягнення необхідної точності замикаючого ланки всі складові ланки ланцюга відновлюються, крім кількох зношених ланок, які піддаються процесу сортування, і навіть ланки, що у ролі компенсатора.

Проаналізувавши дані робимо висновок, що головним завданням процесу ремонту агрегатів є забезпечення геометричних параметрів та точності значень складових та замикаючих ланок[22].

Висновки до розділу

- Проведений аналіз існуючої системи ремонту великовантажних самоскидів, зокрема АКПП Komatsu HD785-7, виявив її суттєву неефективність. Рішення про капітальний ремонт часто приймається за результатами діагностики, яка недостатньо враховує фактичні розмірні параметри вузлів та агрегатів, що вичерпали свій ресурс.

- Встановлено, що існуюча практика призводить до високої частки аварійних відмов та не дозволяє науково обґрунтувати точні гарантійні терміни напрацювання для відновлених агрегатів.

- Встановлено необхідність розробки науково обґрунтованої методики капітального ремонту на основі розмірного аналізу для забезпечення надійного функціонування агрегатів протягом обґрунтованого гарантійного терміну.

РОЗДІЛ 2. Теоретичні та методичні підходи до визначення гарантійних термінів експлуатації на основі розмірного аналізу

2.1 Загальний підхід та формування цільової функції

У цьому дослідженні визначається проблема призначення можливих шляхів визначення гарантійних термінів експлуатації агрегатів. Теоретичні думки будуються на основних положеннях теорії процесу старіння та відновлення машин, а також отримані результати автором.

Сумарні витрати $C_{\text{сум}}$ входять сума витрат за гарантійний ремонт всього парку великовантажних самоскидів і весь інтервал, що імітується. Підсумовування проводиться у порядку виконаних ремонтних дій (1, 2, 3, ..., n):

$$C_{\text{сум}} = \sum_{i=1}^n \Delta C_i \quad (2.1)$$

Мета вибору оптимального гарантійного терміну експлуатації полягає в мінімізації цільової функції сумарних питомих витрат на ремонт агрегату за період з дати введення великовантажного самоскида в експлуатацію (одиниця техніки) до початку частих відмов.

Оцінюючи зносу агрегату за формулою (2.2) передбачалося, що у розмірну модель входять лише деталі «валів, шестерні». Але насправді розмірну модель також утворюють деталі типу «фрикційні диски». В цьому випадку змінна R_{vi} замінюється змінною R_{ni} - значення розмірного параметра, що відповідає нижньому відхиленню поля допуску i -го розмірного параметра у момент оцінки зношеності агрегату. Таким чином, записом (2.2) знайдено коефіцієнт інтегральної залишкової точності, який розподілений по всьому масиву виявлених розмірних ланцюгів та параметрів.

З низки робіт, присвячених дослідженню зношування поверхонь деталей різного функціонального призначення [23; 24] відомо, що процес зношування поверхонь пов'язаних динамічно навантажених деталей більшості агрегатів

автомобілів навіть при режимах експлуатації носить не лінійний характер, а наближений в більшості випадків, до експоненційної залежності. Тобто процес зношування характеризується функцією:

$$Y = a \cdot e^{bL} + c, \quad (2.2)$$

де Y - розрахункове значення розмірного параметра;

e - основа натурального логарифму;

L - напрацювання агрегату;

a, b, c - коефіцієнти залежності, що визначають властивості та величину зміни розміру. Значення a, b, c можуть бути випадковими, і наперед визначеними.

В результаті збору статистичних даних геометричних параметрів деталей агрегату в процесі його експлуатації можна визначити приблизне співвідношення ступеня та характеру зношування сполучених поверхонь деталі або ланок розмірних ланцюгів. Далі за виявленими нелінійними залежностями можна спрогнозувати момент настання умови, при якому відбувається відмова деталі або агрегату в цілому. Схема описаного вище процесу зображено рис. 2.1.

На рис. 2.1 показана частина розмірної моделі у вигляді одного розмірного ланцюга, що відображає точнісні параметри сполучення фрикційних та металевих дисків, встановлених у муфті включення автоматичної коробки перемикання передач. Подія, що полягає в порушенні робочого, справного стану деталі агрегату будемо вважати вихід поточного значення розміру Y_i замикаючої ланки A_{Δ} розмірного ланцюга E_1 за встановлені граничні значення $Y_{i(\text{попер.})}$ цієї ланки. Також фіксація відмови відзначатиметься в момент досягнення будь-якої зі складових ланок ($A_1 - A_{12}$) даного розмірного ланцюга свого максимально граничного значення.

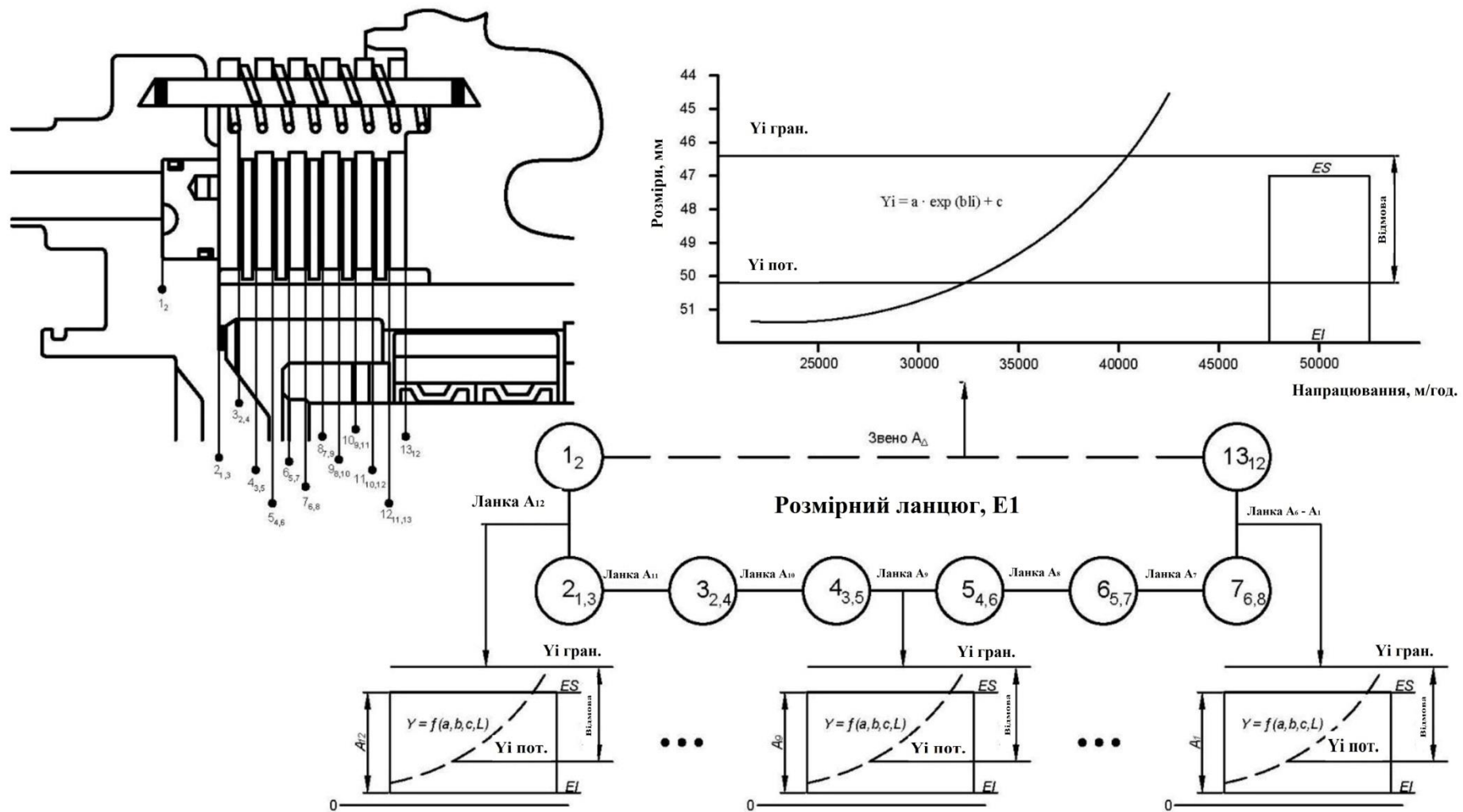


Рис. 2.1 - Схема настання умови, за якої відбувається відмова деталі та агрегату в цілому

Для оцінки окремо взятих показників надійності агрегатів великовантажних самоскидів необхідно отримати основні чисельні показники безвідмовності та довговічності. Для отримання такої інформації необхідно отримати функціональні залежності (2.2) характеру зносу поверхні, що сполучається всіх деталей, що входять в ієрархічну структуру конструктивних зв'язків системи і для всього парку великовантажних самоскидів.

Тим часом, отримання таких даних для виявлення закономірностей при природному експерименті на діючих гірничовидобувних підприємствах не є можливим через їх специфіку роботи, останні не дозволяють проводити часткове або повне розбирання агрегатів для вимірювання геометричних параметрів всіх деталей у структурі агрегату.

Одним з можливих шляхів вирішення цієї проблеми є застосування методів імітаційного моделювання, при якому система, що вивчається, замінюється моделлю, що описує реальну систему. Системою у разі виступають закономірності зношування поверхонь деталей, а вихідними даними процесу моделювання слугуватимуть випадкові величини a, b, c рівняння (2.2). Основи процесу моделювання випадкових величин досить повно викладені у [25; 26] і не становлять значних труднощів.

2.2 Способи опису будови складних технічних систем

Система — безліч елементів, що у відносинах і зв'язках друг з одним, що утворює певну цілісність, єдність. Система найчастіше створюється структурою, під якою зазвичай розуміється комплекс стійких зв'язків та взаємодій елементів, що гарантують цілісність системи [27]. При вирішенні певних видів завдань, поєднання зв'язків та взаємодії всіх елементів можна описати за допомогою структурної моделі технічної системи [28].

Для оцінки показників властивостей надійності технічних систем створено велику кількість аналітичних моделей, в яких структура системи описана як сукупність елементів, побудованих за різними принципами та

правилами.

Залежно від характеру організації в системі елементів та їх зв'язків можна виділити чотири типи структур технічних систем, що найчастіше зустрічаються, послідовна на рис. 2.2; паралельна рис. 2.3; кільцева рис. 2.4; ієрархічна чи деревоподібна рис. 2.5. У цілому системам властиво широке розмаїття структур.



Рис. 2.2 - Послідовна структура системи

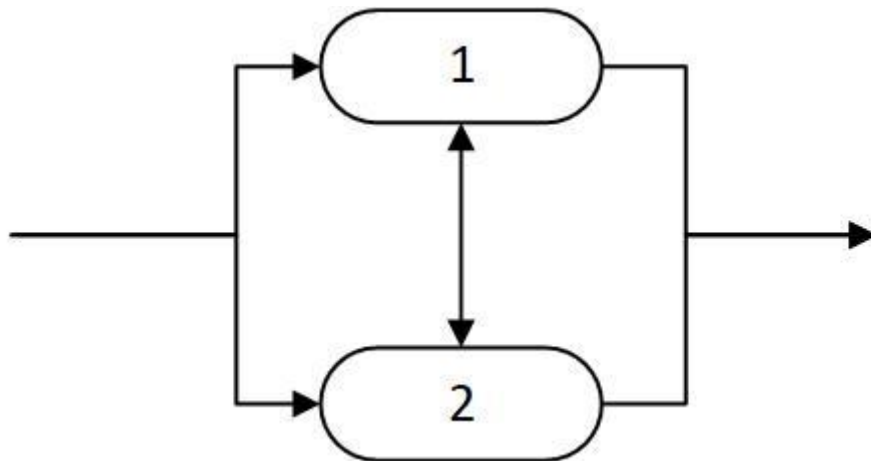


Рис. 2.3 - Паралельна структура системи

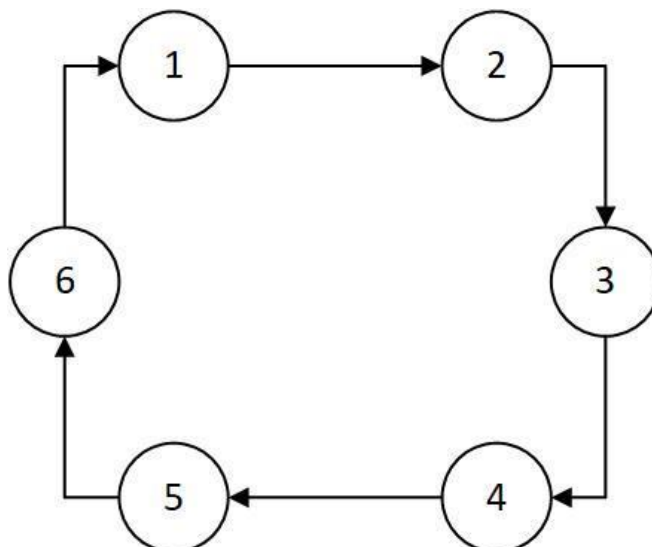


Рис. 2.4 - Кільцева структура системи

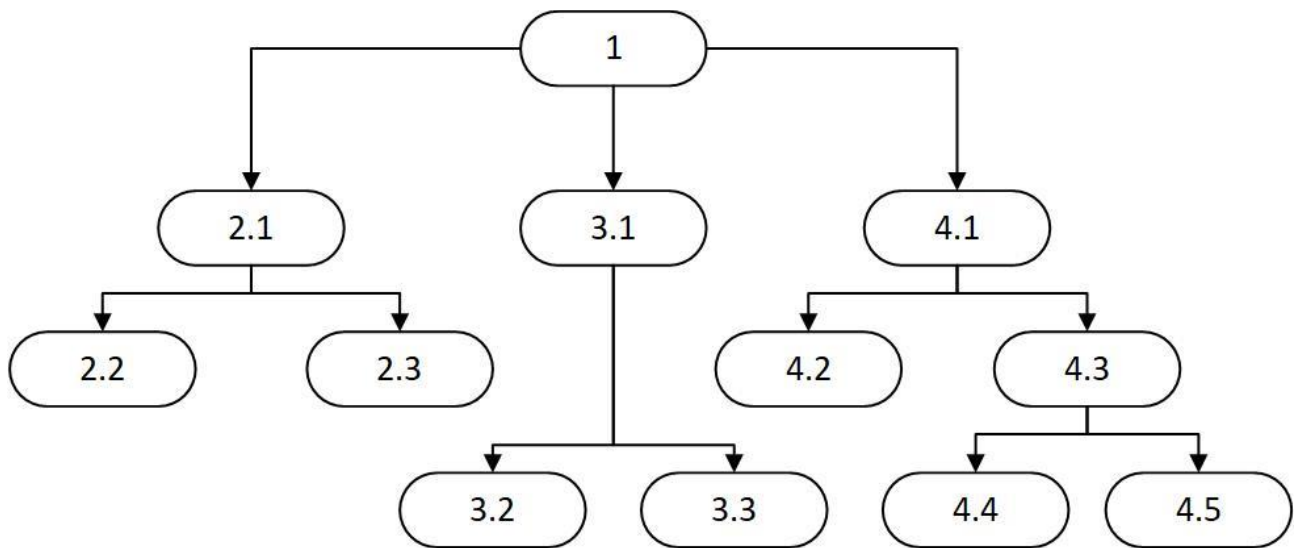


Рис. 2.5 - Ієрархічна структура системи

Найпростішим випадком у розрахунковому сенсі є послідовне (лінійне) з'єднання елементів системи. У такій системі будь-яка відмова елемента рівносильна відмові системи в цілому. За аналогією з послідовно з'єднаних провідників, обрив кожного з яких рівносильний розмиканню всього ланцюга. Слід пояснити, що послідовним таке з'єднання елементів є у сенсі надійності, фізично можуть бути з'єднані як завгодно. Умову працездатності можна сформулювати наступним чином, пристрій працездатний доки працездатні елементи 1, елемент 2 або елемент n . За допомогою такої системи описують функціональні структурні структури або фізичний принцип дії технічної системи.

Кільцева система відрізняється від лінійної лише тим, що останні елементи зв'язуються один з одним. Це дає можливість вести керування у двох протилежних напрямках і тим самим підвищити його надійність. Ієрархічні взаємини відсутні.

Такі типи системи неможливо використовувати для складних технічних систем, використовуваних щодо надійності. Основним недоліком даних систем є невелика, обмежена кількість елементів. Опис структури складної технічної системи з допомогою таких типів структур обмежується лише на рівні окремих агрегатів, без детального описи елементів [29]. Ці типи структур

застосовують для аналізу високонадійних систем (прилади радіоелектроніки, енергетика). Для побудови моделей структур відмови агрегатів великовантажних самоскидів дані підходи є неприйнятними. Вузли та агрегати великовантажних самоскидів вважаються досить складними системами. Безвідмовність елементів яких може мати варіацію: від безвідмовних до тих, що обмежують надійність усієї системи [30].

Тому використовувати ці підходи до синтезу структури вузлів і агрегатів великовантажних самоскидів неможливим. Необхідно використовувати інші правильніші структури складних систем.

Наприклад, у системі автоматичної коробки перемикання передач важливою умовою є найбільше охоплення всіх конструктивних елементів з урахуванням їх функціональних зв'язків, а також можливість перегляду глибини опису моделі при необхідності. Тому найбільш придатною для опису такої системи є ієрархічна (деревоподібна) структура. Приклад такої структури системи показаний рис. 2.5. Такі системи складаються з численних елементів, об'єднані в функціональні блоки, а блоки входять до складу підсистеми з яких складається вся система.

Такі структури безболісно зберігають припущення відмови елемента, що веде до відмови всієї системи. У такому випадку відмова елемента нижнього рівня призводить до відмови елемента верхнього рівня і так ієрархії, причому допускається відмова елемента вищого рівня. Виникнення та розвитку ієрархічних структур не випадково, оскільки це єдиний шлях підвищення ефективності, надійності і стійкості у системах середньої та високої складності.

Таким чином, представлення загальної суми елементів складної системи необхідно здійснювати у вигляді ієрархічного класу структури системи, які, у свою чергу, відображатимуть стан функціонально-конструктивних зв'язків елементів автоматичної коробки перемикання передач.

2.3 Опис структурної моделі елементів великовантажного самоскида

Усі елементи великовантажного самоскида з погляду структурної надійності можна поділити на технічно складні та прості системи. До технічно складних елементів можна віднести елементи трансмісії та ДВЗ. До технічно простих усі допоміжні елементи, передня та задня підвіска.

Розглянемо технічно складний елемент великовантажного самоскида - автоматичну коробку перемикання передач (АКПП). Для АКПП переважає принцип «цибулини» угруповання більшості його елементів. Така особливість будови АКПП з більшою ймовірністю буде провокувати відмову об'єкта високого рівня при відмові елемента низького рівня. Ця особливість підкреслює справедливність вибору ієрархічного класу структури системи для опису цілісності та взаємозв'язку [31].

При розгляді умов поділу структурної моделі АКПП потрібне виконання низки вимог: ієрархічність, цілісність, взаємозв'язок [32].

У процесі оцінки індивідуальних показників надійності елементів великовантажного самоскида необхідно забезпечити можливість аналізу дерева системи на різних рівнях. Поділ залежатиме від індивідуальності розв'язуваного завдання.

Якщо зробити поділ на занадто велику кількість елементів дерева системи, це ускладнить модель, а також збільшить час створення. Якщо зробити поділ на занадто мале число елементів дерева системи, цього буде недостатньо для адекватності структурної моделі агрегату. Тому необхідно дотримуватись оптимальної схеми поділу [33].

Оцінюючи показників властивостей надійності агрегатів великовантажних самоскидів необхідно зробити глибокий аналіз відмов від зношення, тому поділ структурної моделі розташовуватиметься лише на рівні поверхонь деталей [34]. Поділ структурної моделі дозволить розглянути групу елементів як окремий елемент або систему з диференціацією на складові елементи. Таким чином, утворюється багаторівневість, що забезпечується

застосуванням деревоподібної структури для опису структурної моделі АКПП.

Необхідно досягти охоплення всіх елементів системи до заданого максимального рівня деталізації. Відсутність або виключення будь-якого елемента або групи елементів призведе до появи паразитних явищ у результатах використання такої моделі. При аналізі окремих, одиничних показників властивостей надійності тільки максимальне залучення всіх елементів агрегату може забезпечити адекватну та точну працездатність математичної моделі, що розробляється.

Між усіма елементами АКПП є функціонально-конструктивні зв'язки, кінематичні, динамічні та інші види зв'язків. Ця властивість структури враховується вимогою взаємного зв'язку елементів. Ухвалення тих чи інших зв'язків у досліджуваній системі диктується цілями дослідження та рівнем нашого знання про систему.

Процес побудови моделі структури АКПП зумовлює необхідність розглядати АКПП із різних ракурсів, аналізувати поведінку моделі залежно від поставлених дослідницьких цілей. Ця необхідність обумовлює різноманітність описи моделі, це дозволить домогтися відповідності моделі у виконанні досліджень різної спрямованості та її основі отримувати точні результати.

Реєстрація або зневага певних поглядів поведінки моделі в залежності від мети дослідження може досягатися виконанням вимоги до гнучкості моделі. Одна й та система може бути описана різними структурними моделями, відмінність лише у складі і числі складових елементів. Процедура синтезу структурної моделі має об'єднавчий характер. Для отримання необхідного типу моделі її необхідно систематично аналізувати і переробляти.

Синтез, аналіз та модифікація структурної моделі складає основі низки емпіричних правил. Перед початком синтезу структурної моделі потрібно вивчити взаємозв'язок всіх елементів агрегату з максимальним масштабом охоплення всіх деталей, а також визначити масштаб поділу.

Правило поділу застосовується до складальної одиниці або блоку, які складаються із системи елементів, підблоків. У такому випадку початкова

структура може розташовуватися на нульовому рівні. При розподілі структури виходять підструктури першого рівня, а при розподілі підструктури виходять підструктури другого рівня і т.д. з ієрархії. Скорочення можуть бути піддані лише однакові елементи, підблоки, які у однакових умовах експлуатації. Також деякі елементи можуть бути виключені зі структурної моделі через зменшення структурної моделі за рахунок виключення елементів, які не несуть певного інтересу для дослідження, наприклад елементи, відмови яких не сильно позначаються на працездатності агрегату в цілому (корпусні прокладки, кільця ущільнювачів поверхонь, що сполучаються і т.д.). Але при цьому виняток цих елементів із структури може позначитися на адекватності моделі, тому необхідно виважено підходити до такого рішення.

На основі вищевикладених було побудовано ієрархічну структурну модель конструктивних зв'язків АКПП великовантажного самоскида HD785-7, рис. 2.6. При побудові структурної моделі використали оригінальний каталог деталей великовантажного самоскида HD785-7 [36].

На першому корінному рівні поділу знаходиться агрегат у зборі, який відноситься до трансмісії. Другий рівень поділу становить 11 великих елементів. До третього рівня поділу належать деталі великих елементів тощо. з ієрархії.

Структурна модель даного АКПП містить чотири рівні, це дозволить нам детальніше провести аналіз елементів системи. У процесі синтезу було визначено 258 елементів структури, структурної моделі:

- перший рівень поділу складається з 1 елемента;
- другий рівень поділу складається з 11 елементів;
- третій рівень поділу складається із 49 елементів;
- четвертий рівень поділу складається із 197 елементів.

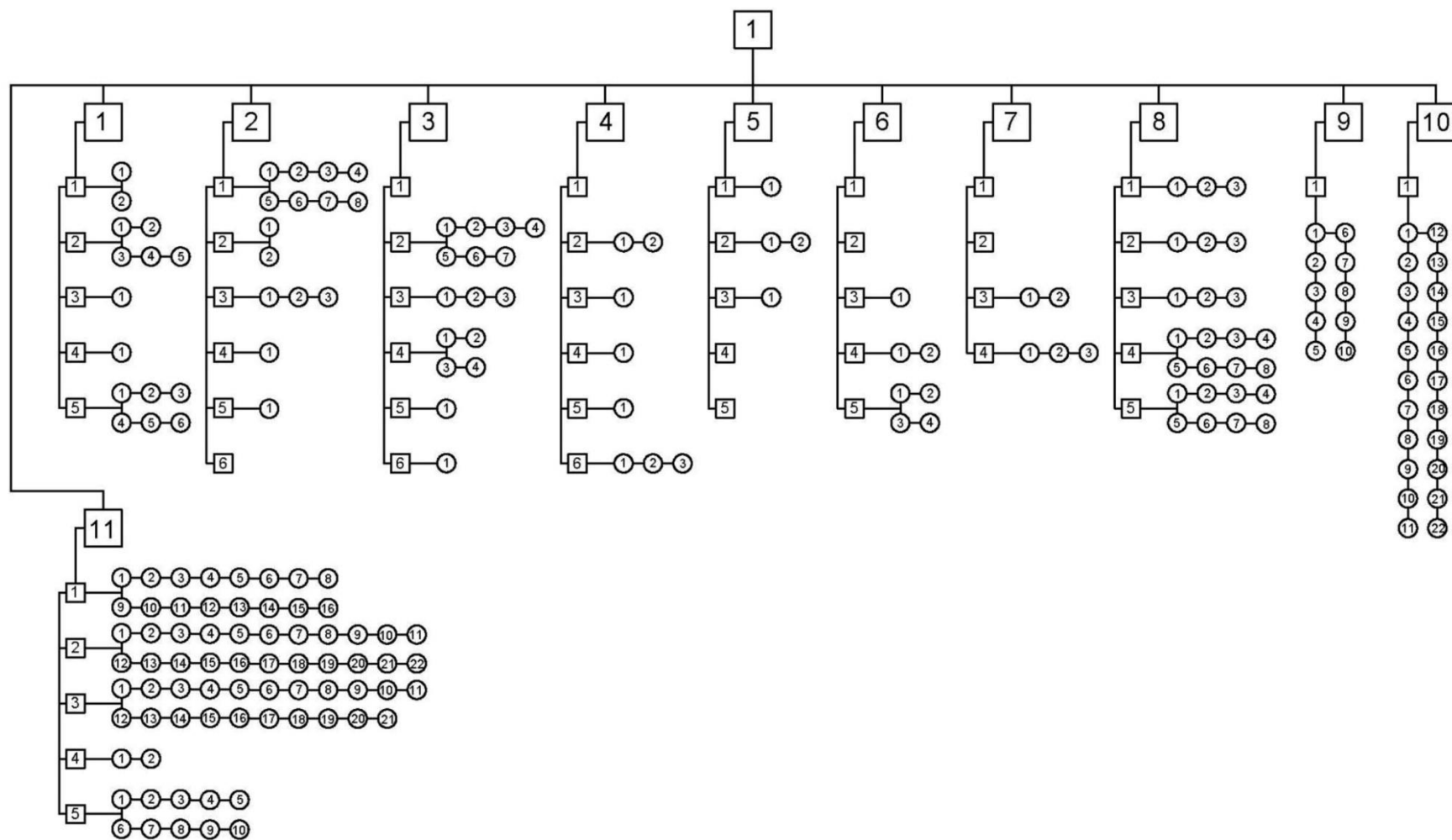


Рис. 2.6 - Ієрархічна структурна модель конструктивних зв'язків АКПП великовантажного самоскида HD785-7

Побудована структурна модель визначає реальну автоматичну коробку перемикання передач великовантажного самоскида. Була охоплена вся система, включаючи поверхні деталей, що сполучаються. Слід сказати, що відсутність загальноприйнятих правил створення структурних моделей даних систем збільшує трудомісткість підготовчих операцій до отримання націлених результатів. Потрібно й надалі проводити дослідження в цій галузі, для покращення результатів та максимально оперативного прийняття рішення при побудові структурних моделей.

Було створено ієрархічну структурну модель автоматичної коробки перемикання передач великовантажного самоскида, яка буде використана як основа накопичення та аналізу даних, щодо кожного з елементів системи.

Висновки до розділу

- Визначено проблеми призначення можливих шляхів найефективнішого визначення гарантійних термінів експлуатації агрегатів. Сенс вибору найбільш відповідного гарантійного терміну експлуатації агрегату полягає у скороченні фінансових витрат на ремонт агрегату за період з дати введення або після останнього ремонту великовантажного самоскида в експлуатацію (одиниця техніки) до початку частих відмов.

- Визначено структури технічних систем. Розвиток ієрархічних структур єдиний шлях підвищення ефективності, надійності та стійкості в системах середньої та високої складності.

- Розроблено та побудовано ієрархічну структурну модель конструктивних зв'язків автоматичної коробки перемикачів передач великовантажного самоскида Komatsu HD785-7.

РОЗДІЛ 3. Експериментальні дослідження

3.1 Загальна методика експериментальних досліджень

3.1.1 Структура методики експериментальних досліджень

Експериментальні дослідження проводилися з метою збирання та аналізу даних для формування математичної моделі ресурсних відмов деталей агрегатів великовантажних самоскидів, а також практичної апробації теоретичної методики, розробленої у другому розділі. Експеримент проводився на ТОВ «Агротраксервіс» м. Житомир використовуючи транспортні засоби надані для обслуговування ТОВ «Бехівський гранітний кар'єр» с. Бехи, Житомирської області. Структурна схема методики експериментальних досліджень наведено рис. 3.1.



Рис. 3.1 - Структурна схема методики експериментальних досліджень

Етап №1 - Проводиться визначення та обґрунтування об'єкта дослідження.

Етап №2 - Проводиться аналіз роботи підприємства, у якому вироблявся натурний експеримент. Для успішного проведення експерименту на

підприємстві необхідний грамотний документообіг, що фіксує всі відмови агрегатів і техніки, роботи з технічного обслуговування, поточного та капітального ремонту техніки, матеріальні та трудові витрати ресурсів. Виробничий майданчик підприємства, на якому вироблявся натурний експеримент повинен бути оснащений слюсарним та електроінструментом, допоміжним та основним технологічним обладнанням, засобами механізації для забезпечення регламентованого та якісного проведення ремонтних впливів випробуваного об'єкта.

Етап №3 - Проводиться збір даних про допустимі значення розмірних параметрів агрегатів, статистики напрацювання та відмов об'єкта дослідження.

Етап №4 - Інформація, отримана в ході досліджень, фіксувалася у спеціальних формах - таблицях для подальшої її обробки та аналізу та подальше використання у розробленій методиці.

Етап №5 - Проаналізували змодельовані числові значення ресурсних відмов та зіставили їх із наявними даними гарантійного напрацювання агрегатів.

3.1.2 Об'єкти та напрямки експериментальних досліджень

Для організації експериментального дослідження обраний агрегат - автоматична коробка перемикання передач, 7 передач переднього ходу та 2 передачі заднього ходу великовантажного самоскида Komatsu HD785-7 представлена рис. 3.2. Вибір даного агрегату, як об'єкт дослідження зумовлено тим, що цю модель АКПП великовантажного самоскида Komatsu HD785-7 модифікували, за заявою виробника стала надійнішою.



Рис. 3.2 - Автоматична коробка перемикання передач великовантажного самоскида Komatsu HD785-7 у зборі

Ця модель АКПП удосконалена модель АКПП великовантажного самоскида Komatsu HD785-5, яка також відрізняється досить непоганою надійністю. Дані типи АКПП встановлюються лише на великовантажні самоскиди Komatsu HD785-7, вантажопідйомністю 90 тон. Самоскиди призначені для транспортування гірської маси (розтину) від вибоїв до пунктів розвантаження. Умови експлуатації змінюються в залежності від пори року, а також від маршруту транспортування гірської маси, це призводить до максимальних навантажень на трансмісію, що змінюються в часі. АКПП має досить складну конструкцію з величезною кількістю деталей, які здебільшого прив'язані до розмірних параметрів, що має на увазі особливу увагу до вимірювального контролю. Експлуатація великовантажних самоскидів Komatsu HD785-7 проводиться відповідно до «Інструкції з експлуатації та техобслуговування [26] та «Заводської інструкції [27] згідно з регламентом робіт. Технічні характеристики автоматичної коробки перемикання передач подано у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Технічні характеристики автоматичної коробки перемикачів
великовантажного самоскида Komatsu HD785-7

Найменування	Характеристика
Коробка передач	Повністю автоматичного, планетарного типу
Гідротрансформатор	Триелементний, одноступінчастий двофазний
Швидкісний діапазон	7 передач переднього ходу та 2 передачі заднього ходу (підвищена та знижена передачі заднього ходу)
Муфта блокування	Багатодискова мокрого типу
Передній хід	Привід через гідротрансформатор на 1-й передачі, прямий привід на 1-й передачі при включенні муфти блокування та на всіх вищих передачах
Задній хід	Привід через гідротрансформатор, прямий привід (при включенні муфти блокування)
Управління перемикачів передач	Електронне керування з автоматичною модуляцією фрикціонів на всіх передачах
Вага	1817 кг
Передаточне відношення 1-й передачі переднього ходу	4,696
Передаточне відношення 2-й передачі переднього ходу	3,333
Передаточне відношення 3-й передачі переднього ходу	2,475
Передаточне відношення 4-й передачі переднього ходу	1,838
Передаточне відношення 5-й передачі переднього ходу	1,365
Передаточне відношення 6-й передачі переднього ходу	1,0
Передаточне відношення 7-й передачі переднього ходу	0,742
Передаточне відношення низькою швидкості заднього ходу	5,244
Передаточне відношення високою швидкості заднього ходу	3,894

Процес усунення несправності відбувається так: якщо відбулася відмова навісного обладнання без демонтажу АКПП, він усувається в процесі технічного обслуговування, якщо відмова пов'язана з демонтажем АКПП, то агрегат демонтували і направляли в агрегатну ділянку для проведення ремонту. Якщо була оборотна АКПП, то робили монтаж, із записом в паспорт самоскида про заміну агрегату, дотримуючись правил заміни серійних номерів агрегату,

вказівки напрацювання агрегату вщент і т.д. Якщо оборотний агрегат був відсутній, самоскид ставили у простій до закінчення виконання ремонтних дій. Зазвичай його ставлять на консервацію в бухгалтерському обліку, щоб простий не впливав на загальний план КТГ (коефіцієнт технічної готовності) і КВО (коефіцієнт використання обладнання).

Перед початком експериментальних досліджень збирається вся наявна інформація щодо значень розмірних параметрів деталей АКПП. Інформація взята із «заводської інструкції» [27]. Проведені дослідження на підприємстві зробили величезний внесок у зборі інформації по вузлах та агрегатах, що лімітують надійність, включаючи об'єкт дослідження АКПП великовантажного самоскида Komatsu HD785-7. Інформація щодо відмови АКПП черпалася з паспорта самоскида, статистики, журналу ремонтів, весь цей документообіг ведуть механіки з ремонту транспорту підприємства. У документах фіксується дата відмови, гаражний номер самоскида, напрацювання самоскида (м/год), вид відмови та причина відмови. У деяких випадках відзначають час простою самоскида, якщо простий становить понад 2 години.

3.2 Методика проведення експериментальних досліджень та збору статистичної інформації

3.2.1 Обґрунтування плану експериментальних досліджень

Результати експериментальних досліджень певною мірою залежать від суми несподіваних факторів, які можуть вплинути на результати. Тому на початковому етапі потрібно обґрунтувати план досліджень з огляду на всі умови. Основним етапом експериментальних досліджень вважається збір інформації про середнє напрацювання до відмови, залежності зношування розмірних параметрів. План випробувань встановлює кількість об'єктів випробувань, порядок проведення випробувань (з відновленням працездатного стану виробу після відмови, заміною виробу, що відмовив, або без відновлення та заміни) та критерій їх припинення

На підставі статистичних даних, а також досвіду експлуатації великовантажних самоскидів можна відзначити домінуючі причини відмови АКПП: механічне руйнування зубів шестерень, зношування фрикційних дисків і пластин, порушення геометричних розмірів місць посадки підшипників і втулок, зношування прецизійних деталей гідроблоку. Ресурси більшості елементів АКПП багато в чому підпорядковуються розподілу Вейбулла. Прийmemo його за основу, щодо обсягу підконтрольної вибірки.

Необхідний обсяг підконтрольної вибірки N можна визначити, використовуючи вираз зв'язку параметрів розподілу Вейбулла з розподілом χ^2 - Квадрат:

$$(\delta + 1)^b = \frac{2N}{\chi^2_{1-q_{2N}}} \quad , \quad (3.1)$$

де δ – задана відносна точність середнього показника;

b – статечний параметр форми розподілу Вейбулла;

$\chi^2_{1-q_{2N}}$ – квантиль розподілу, що відповідає довірчій ймовірності q і числу ступенів свободи $2N$.

Коефіцієнт варіації v ресурсу підшипників, фрикційних дисків, втулок, шестерень та інших деталей, що зазнають втомного руйнування, приймаємо 0,3 згідно з розрахунковими даними. Величину b приймаємо рівною 2,77. Величину ε можна вибрати з діапазону 0,8; 0,9; 0,95; 0,99. У цій методиці стосовно нашого об'єкта дослідження приймаємо $\varepsilon = 0,95$.

Знаходимо величину N залежно від відносної помилки q . Таким чином, при відносній помилці $q = 0,15$ кількість необхідних підконтрольних коробок перемикач становитиме $N = 13$ од.

Наступним етапом необхідно визначити критерії припинення випробувань. Основним завданням проведення експериментальних досліджень на надійність служить визначення параметрів залежності зношування розмірних параметрів структурних елементів автоматичної коробки перемикач передач,

то приймемо за критерій припинення випробування час, коли не станеться ресурсна відмова всіх розмірних параметрів. У разі ресурсної відмови одного з елементів його замінюють і цей елемент не бере участі в експериментальному дослідженні.

Тривалість експериментального дослідження в який входив збір статистики відмов, інформації про технічні залежності зношування поверхонь деталей автоматичної коробки перемикання передач великовантажного самоскида Komatsu HD785-7, що сполучаються, склав близько 12 місяців в період з 2024 по 2025 рік. З викладеного вибираємо план випробування, з обсягом вибірки $N = 13$ і з тривалістю випробувань дорівнює 1 рік.

3.2.2 Натурний експеримент

У ході натурного експерименту, який проходив на ремонтному боксі ТОВ «Агротраксервіс», здійснили розбирання та дефектування автоматичної коробки перемикання передач (АКПП) великовантажних самоскидів Komatsu HD785-7, що експлуатуються на ТОВ «Бехівський гранітний кар'єр» (с. Бехи, Житомирська область). Розбирання та дефектування АКПП проходило в на одній із ділянок РММ (ремонтно-механічних майстерень). Усі роботи проводилися згідно із заводською інструкцією [36]. Загальна структурна схема послідовності виконання робіт з розбирання та дефектування АКПП великовантажного самоскида Komatsu HD785-7 наведена на рис. 3.3.

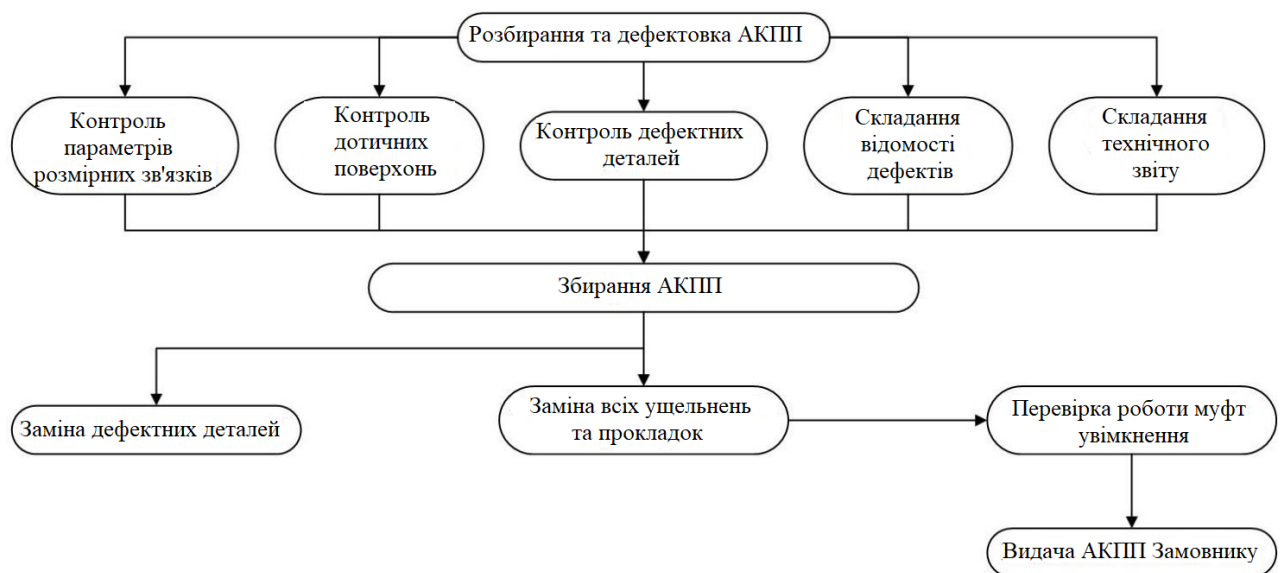


Рис. 3.3 - Структурна схема послідовності проведення робіт з розбирання та дефектування АКПП великовантажного самоскида Komatsu HD785-7

Далі опишемо процес проведення робіт. У процесі розбирання та дефектування брали участь слюсар з ремонту агрегатів, не нижче 6 розряду та інженер - механік (механік з сервісу та старший механік). Був використаний слюсарний і пневматичний інструмент, вимірювальний інструмент, спеціальний інструмент, мостовий кран, спеціальні пристрої для кантування АКПП. У середньому трудомісткість робіт з розбирання та дефектування АКПП становить близько 142 люд./год. Трудомісткість складання АКПП становить близько 105 люд./год.

Структура будови АКПП спроектовано таким чином, що процес розбирання є послідовно демонтованими «складаннями» вузлів і деталей, складання у зворотній послідовності. У процесі розбирання АКПП всі його деталі, що лімітують надійність або видимим зносом, спричиняють вимірювання та заносять до бланку, дані всіх вимірювань згодом позначаються в технічному звіті.

По завершенню всієї процедури розбирання, дефектування та вимірювання параметрів деталей і розмірних ланцюгів складається технічний звіт, в якому відображаються всі проведені виміри, з фото фіксацією та описом, за необхідністю. Далі на підставі проробленої роботи складається відомість

дефектів, замінити, дотримуючись каталожних номерів та кількості, дотримуючись при цьому типу виконання, належності до техніки та серійного номера агрегату. Якщо деталі АКПП, зазначені у відомості дефектів є в наявності на складі, подається заявка на отримання і далі складання АКПП у зворотній послідовності розбирання. До приміщення в картер АКПП перевіряють стислим повітрям величину ходу в (мм) поршнів №4, 5, 6, 7 муфт включення, приклад витримки фрагментів із заводської інструкції [36] по збірці АКПП. У процесі складання всі болтові з'єднання затягую тільки з моментом, зазначеним в інструкції. Якщо деталі відсутні на складі, відомість дефектів передається до відділу матеріально-технічного постачання (ВМТП) для подальшої закупівлі.

Варто зазначити, що, якщо великовантажний самоскид зупинили для демонтажу АКПП по гарантійному напрацюванню, яка становить близько 25000 мотогодин при цьому, не запланувавши цей простій, це загрожує фінансовими втратами для виробництва, так як простій однієї години великовантажного самоскида 90 тон. Не важко порахувати кінцеву суму фінансових втрат при простої великовантажного самоскида в очікуванні запасних частин, яка в деяких випадках може становити до 6 місяців.

3.3 Методика оцінки адекватності імітаційної математичної моделі ресурсних відмов

Математична модель ресурсних відмов, описана в другому розділі, досить точно описує справжній процес ступеня і характеру зносу пов'язаних площин деталей ланок розмірних ланцюгів, а також зміна всіх контрольованих розмірних параметрів, при цьому забезпечувати максимально точними розрахунковими даними, наближені до реальних.

При оцінці адекватності описуваної математичної моделі правильно буде використовувати математичне правило для оцінки різниці між вибірками:

- вибірки, отримані в ході моделювання розрахункового значення; -

вибірки, отримані в ході проведення експерименту.

Враховуючи особливість розробки математичної моделі, застосуємо ряд вимог:

- працездатність критерію при незалежних вибірках нерівної чисельності;
- відсутність вимог на постулювання законів розподілу із заздалегідь відомими параметрами;
- працездатність та достатня достовірність при малій вибірці ($N < 100$).

Існує досить велика кількість статистичних критеріїв, які можна використовувати з цією метою. Серед найпоширеніших можна виділити такі:

- t - критерій Стюдента - найчастіше застосовуються для перевірки рівності середніх значень у двох вибірках;
- критерій згоди Пірсона - застосовується для будь-яких видів розподілу і невідомих його параметрів. Єдине істотне обмеження в кількості елементів вибірки ($N \geq 100$);
- критерій Фішера - у статистичному аналізі служить порівняння двох вибірок за параметрами їх дисперсій. Застосування цього критерію обмежується необхідністю перевірки вибірок на відповідність до нормального закону розподілу.

З цього випливає, що жоден з відомих критеріїв не відповідає поставленим умовам, які вимагають розробки імітаційної математичної моделі.

Для перевірки адекватності моделі будемо використовувати малопоширений, але досить ефективний статистичний метод порівняння двох вибірок - критерій Манна - Вітні, який вперше був запропонований Френком Вілкоксоном в 1945 році, а в 1947 був покращений і розширений Х. Б. Манном і Д. Р. Вітні. Цей критерій призначений для оцінки відмінностей між двома вибірками за рівнем якоїсь ознаки, кількісно вимірної. Він дозволяє виявляти різницю між незалежними малими вибірками, коли $N, N \geq 3$ або $N = 2, 5 \geq 5$, що цілком задовольняє нашим умовам. Значення U - критерію Манна-Уітні визначається за формулою:

$$U = n_1 \cdot n_2 + \frac{n_x(n_x-1)}{2} - T_x , \quad (3.2)$$

де n_1, n_2 - обсяг вибірки 1 та 2;

n_x - кількість об'єктів у групі з більшою сумою рангів;

T_x - велика їх двох рангових сум.

Для визнання адекватності математичної моделі необхідно виконання наступної умови - розрахункове значення критерію U_p має бути менше табличного заданого рівня значущості $U_{(N_1, N_2, \alpha\%)}^T$:

$$U_p > U_{(N_1, N_2, \alpha\%)}^T \quad (3.3)$$

Задавшись статистичним рівнем значимості $\alpha = 0,01$, визначалися табличні значення критерію $U_{(N_1, N_2, \alpha\%)}^T$ [38] для кожної характеристики, що моделюється. Шляхом порівняння розрахункового значення критерію з його табличного значення за умовою (3.3) визначалася адекватність імітаційної математичної моделі. Якщо умова виконувалася, то вважалася, що модель з достатньою точністю повторює результати експерименту, тобто адекватна. В іншому випадку модель визнавалася неадекватною і піддавалася подальшому доопрацюванню, за допомогою ускладнення математичних виразів, що входять до неї.

Висновки до розділу

- Розроблено загальну методику експериментальних досліджень, структуру та взаємозв'язок етапів досліджень. Визначили предмет та напрямки експериментальних досліджень.

- Зробили обґрунтування плану експериментальних досліджень та критерії його припинення. Виконали розрахунок та вибір плану випробування.

Зважаючи на малу доступність нормативної та технічної документації, рекомендацій виробника, було запропоновано методику визначення показників на основі натурного експерименту. Зробили опис натурного експерименту зі складанням структурної схеми.

РОЗДІЛ 4. Результати експериментальних досліджень

4.1 Аналіз структури та причин відмов агрегатів, що надходять у поточний чи капітальний ремонт

За кількістю відмов, а також трудомісткості їх усунення автоматична коробка перемикання передач стоїть на другому місці серед агрегатів та механізмів великовантажних самоскидів після двигуна. Демпфер і передня підвіска не менш трудомістка у ремонті, а кількість відмов може залежати від умов експлуатації. У ході прийняття рішення, щодо видів ремонтних впливів при поточному чи капітальному ремонті розмірної моделі необхідно провести оцінку показників експлуатаційної надійності, поділ відмов, а також виявити деталі, що обмежують надійність. Аби вирішити згадані завдання розроблено укрупнені структурні моделі агрегатів та механізмів, приклад схеми яких представлені на рис. 4.1, рис. 4.2 та рис. 4.3.

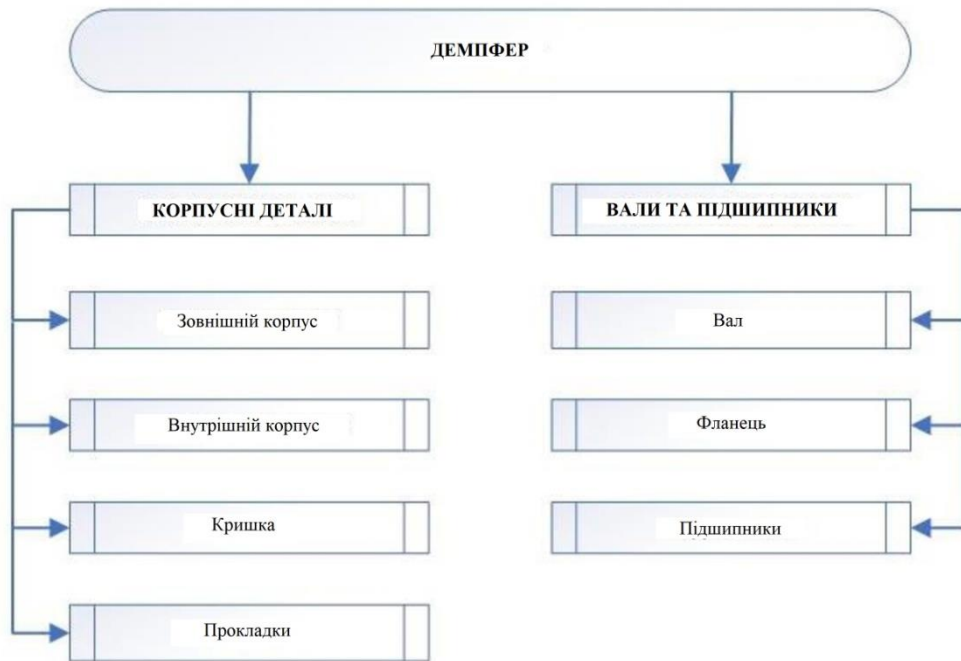


Рис. 4.2 - Модель демпфера великовантажного самоскида
Komatsu HD785-7

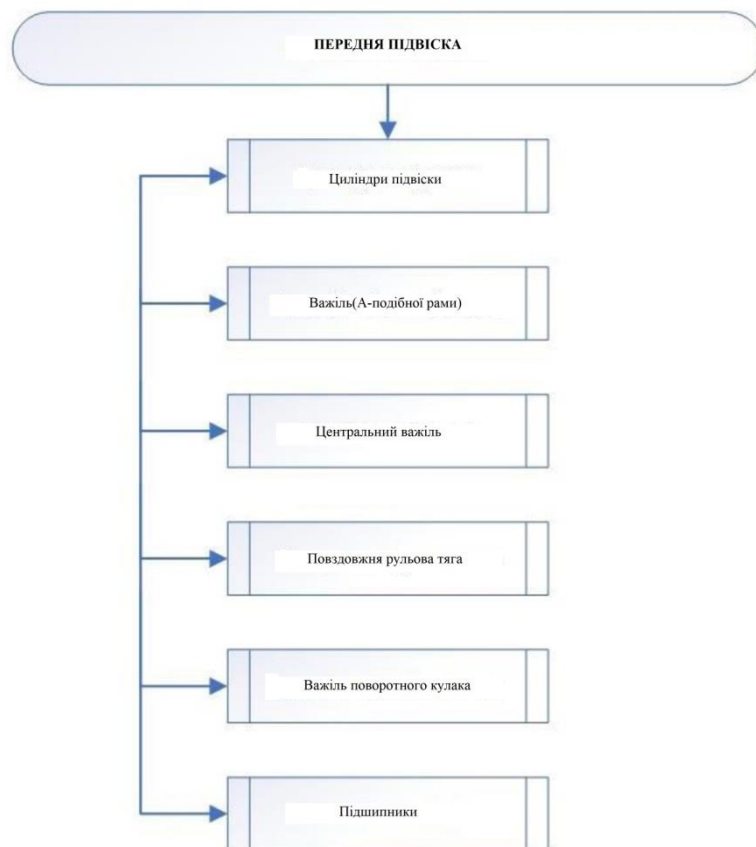


Рис. 4.3 - Модель передньої підвіски великовантажного самоскида Komatsu
HD785-7

У ході планування експериментальних досліджень за розподілом Вейбулла з типовими для гідромеханічних передач важкої техніки параметрами (коефіцієнт варіації $\approx 0,3$ та довірна ймовірність $0,95$) мінімально необхідний обсяг підконтрольної вибірки склав 13 одиниць.

Проте об'єкти дослідження належить до особливо дорогого і малосерійного обладнання. Один капітальний ремонт такого агрегаті потребує демонтажу з машини, тривалого простою самоскида, залучення спеціальної підйомної техніки та триває 25–35 робочих днів. За період 2024–2025 років на підприємстві ТОВ «Бехівський гранітний кар'єр» в Житомирській області, з якими укладено договори про науково-технічну співпрацю, у планово-попереджувальний капітальний ремонт надійшло лише п'ять агрегатів даного типу.

Саме ці п'ять одиниць стали об'єктом натурного експерименту: кожен з них було повністю розібрано, продефектовано та виміряно всі критичні розмірні параметри. Отримані залежності зносу, коефіцієнти апроксимації та структура відмов прийняті, як репрезентативні для даної моделі техніки.

Для збереження статистичної достовірності всі подальші розрахунки гарантійного напрацювання виконано шляхом пропорційного масштабування результатів на розрахунковий обсяг вибірки $N = 13$. Такий прийом є загальноприйнятим при дослідженні унікального та високовартісного обладнання, коли повна вибірка неможлива в межах одного наукової роботи, і дозволяє коректно оцінити ефект при типовому річному навантаженні ремонтного підприємства.

Дослідження зазнало 5 автоматичних коробок передач, 5 демпферів і 5 механізмів передньої підвіски великовантажних самоскидів Komatsu HD785-7, що експлуатуються на гірничовидобувному підприємстві ТОВ «Бехівський гранітний кар'єр» в Житомирській області. Спостереження проводилось у період з 2024 по 2025 роки.

Розглянемо структуру відмов АКПП. Більшість відмов у АКПП сучасних великовантажних самоскидів посідає пакети фрикціонів, втулки, підшипники і ущільнення. Всі деталі, що труться, набагато більше схильні до зносу незважаючи

на сучасні технології. Далі йдуть шестірні, посадкові місця валів, корпусів. Третім іде електроустаткування.

Відмови АКПП обумовлені зношуванням дисків і пластин муфт включення, виявлено руйнування хвильових пружин, внаслідок чого відбувається нахил як окремого диска і пластини, так і всього пакета, що в свою чергу призводить до стрімкого зношування корпусу муфти, клина і механічного руйнування всього пакету фрикціонів.

Також є порушення роботи підшипників, відбувається збільшення радіального зазору, механічне руйнування сепараторів, просадка розмірного параметра місця встановлення підшипника.

Знос втулок обумовлений збільшенням радіального зазору між валом та втулкою. Якщо розглядати вали, шестерні та корпусні деталі, то їх знос - це наслідок зносу вищезгаданих деталей втулок, підшипників тощо.

Розглядаючи знос ущільнювальних кілець (бронза, тефлон, фторопласт), то внаслідок їх знос відбувається знос робочої поверхні циліндра муфти включення, поверхонь, що сполучаються і т.д.

Розглянемо структуру відмов демпфера. Більшість відмов демпфера великовантажних самоскидів посідає гумові муфти і підшипники.

Відмови демпфера обумовлені механічним руйнуванням гумових пружних муфт, що в момент пуску і зупинки ДВЗ призводить до ривків і ударів, згубно впливаючи на елементи ДВЗ, проміжного карданного валу, так і на елементи гідротрансформатора.

Також є порушення роботи підшипників, відбувається збільшення радіального зазору, механічне руйнування сепараторів, просадка розмірного параметра корпусу і вихідного валу демпфера. Сюди можна додати механічне зношування шліців вихідного валу.

Розглянь структуру відмов елементів передньої підвіски. Велика і, напевно, основна частина відмов елементів передньої підвіски великовантажних самоскидів припадає на підшипники ШСЛ і пальці.

Відмовлення елементів передньої підвіски обумовлені механічним зносом

сполучних пальців, зносом і руйнуванням підшипників ШСЛ, а також у деяких випадках зносом посадкових місць базових деталей (Важіль (А-подібної рами), центральний важіль, поперечна рульова тяга, важіль поворотного кулака).

У ході проведених досліджень були виявлені деталі та поверхні, що лімітують надійність:

1. Автоматична коробка перемикання передач:

- диски та пластини - знос робочої поверхні;
- втулки та шайби ковзання - знос робочої поверхні;
- сателітні шестерні - знос, руйнування зубів шестерень;
- підшипники - руйнування сепаратора, радіальний проміжок;
- корпуси муфт включення - знос шліців, робочої поверхні пластин, знос

посадкових розмірів підшипників та втулок;

- електропроводка - знос, руйнування;
- ущільнення - знос, руйнація.

Виконано структурування відмов елементів предмета дослідження:

- знос - 65%;
- механічні руйнування - 25%;
- електрика - 5%;
- інше - 5%.

2. Демпфер:

- вихідний вал - знос посадкових місць підшипників;
- вихідний вал - знос шліцевої сполуки;
- гумові пружні муфти - механічне руйнування;
- корпус - знос, просідання посадкових місць підшипників;

Виконано структурування відмов елементів предмета дослідження:

- механічні руйнування (деформація) - 85%;
- зносом - 15%.

3. Передня підвіска:

- важіль (А-подібної рами) - знос посадкових отворів під підшипник, знос пальців;

- центральний важіль - знос посадкових отворів під підшипник, знос втулок, пальців;

- важіль поворотного кулака - знос втулок, знос пальців;

- поперечна рульова тяга - пальців, посадкових місць під підшипники.

Виконано структурування відмов елементів предмета дослідження:

- знос - 67%;

- механічні руйнування - 25%;

- інше - 8%.

До всіх процесів і впливів, які призводять до відмови агрегатів і механізмів автомобілів, потрібно приділити особливу увагу, так як це в першу чергу пов'язане зі зносом.

4.2 Результат напрацювання на відмову, отриманий модельним шляхом та в ході натурного експерименту

В результаті збору статистичних даних про ремонти, напрацювання агрегатів великовантажних самоскидів на гірничовидобувному підприємстві Житомирської області було здійснено математичні розрахунки, метою яких є визначення розрахункової точності гарантійного напрацювання агрегату після ремонтних впливів у період експлуатації, що позитивно позначиться на плануванні ремонтного виробництва.

Маючи виміряні значення геометричних параметрів деталей агрегатів, а також нормативні розміри розмірних параметрів деталей агрегатів великовантажного самоскида можна шляхом нескладних обчислень визначити ступінь зносу деталі агрегату для кожного елемента, що розглядається.

З отриманих розрахункових даних будуємо графік результатів апроксимації залежностей зносу від напрацювання агрегату, рис. 4.4 - 4.14. У нашому випадку розглядаємо три елементи (АКПП, демпфер, передня підвіска) великовантажного самоскида. Далі розглянемо кожен елемент окремо.

Після побудови графіка співвідношення величини зносу від напрацювання

агрегату виділяємо параметри лінії тренда (експоненційна), і отримані рівняння підставляємо дані ступеня зносу деталей агрегату. У ході розрахунку отримуємо дані гарантійної відмови, щодо межі критичного зношування деталі агрегату великовантажного.

На рис. 4.5 - 4.15 показано графіки розрахункової гарантійної відмови щодо межі критичного зносу для кожного з трьох елементів великовантажного самоскида, що розглядаються. Завдяки розрахункам нам вдалося отримати розрахункову точку напрацювання деталей агрегату на відмову. Розглянемо кожен елемент окремо.

АКПП, муфта включення у зборі.

На рис. 4.4 показаний графік результатів апроксимації залежностей зносу від напрацювання кожної муфти включення АКПП великовантажного самоскида на основі представлених нормативних та вимірних значень геометричних параметрів кожної муфти включення АКПП великовантажного самоскида, а також отриманих в ході обчислень розрахункових даних ступеня зношування для кожної муфти.

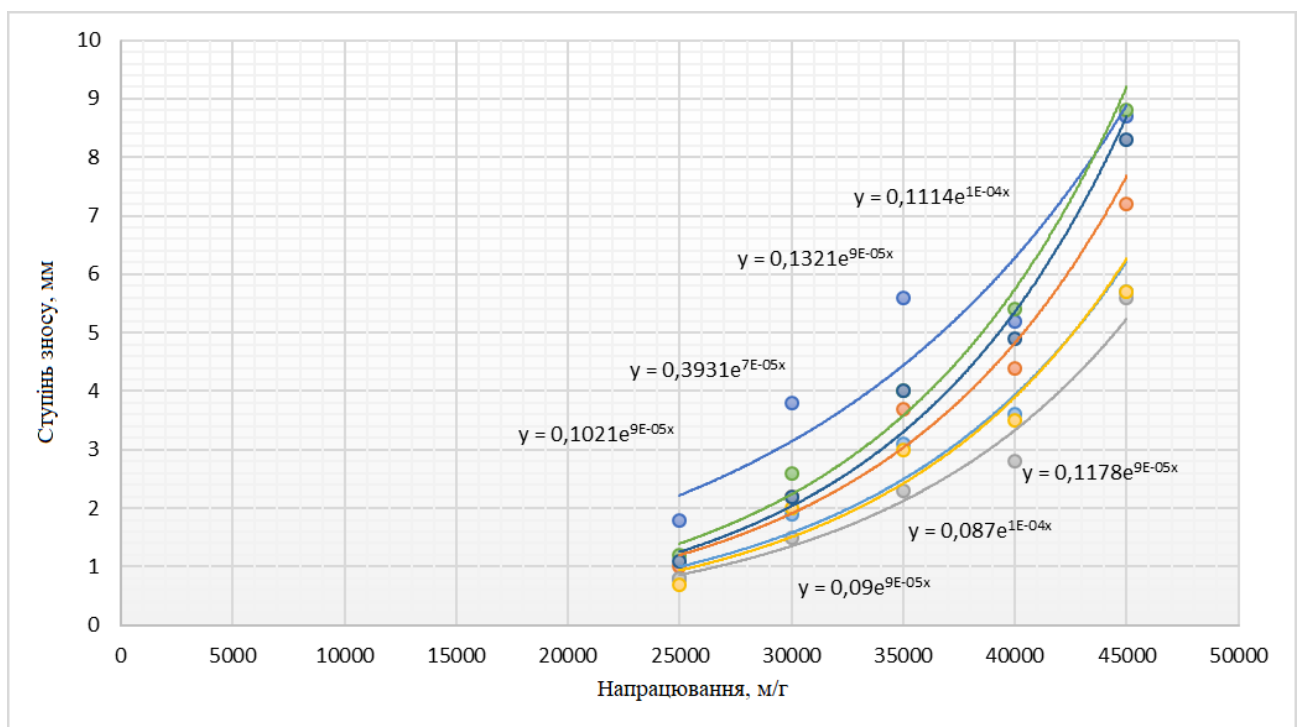


Рис. 4.4 - Результати апроксимації залежностей зносу від напрацювання кожної муфти включення АКПП великовантажного самоскида

На рис. 4.5 показаний графік розрахункової гарантійної відмови щодо меж критичного зносу муфт АКПП великовантажного самоскида. Примітно, що межі критичного зношування для деяких муфт різні:

- муфта 3 та 4 передачі становить 3 мм;
- муфта високої та низької швидкості становить 3,8 мм;
- муфта 1, 2 передачі та муфта заднього ходу становить 4 мм.

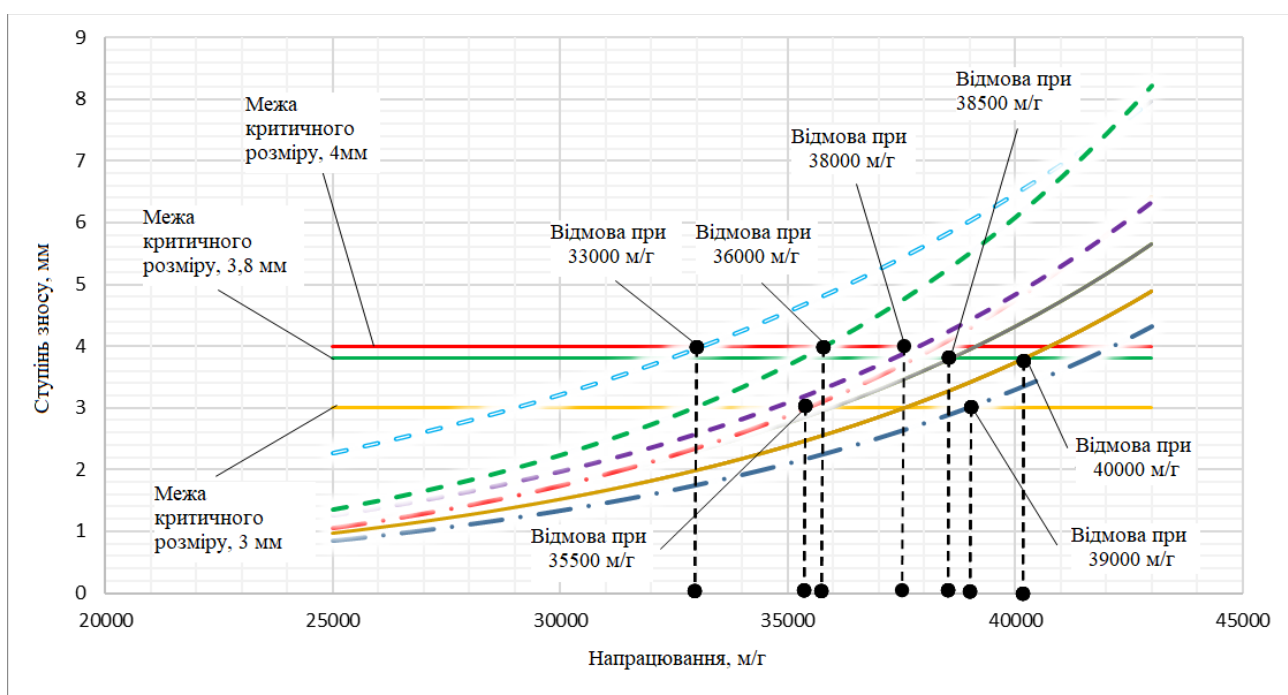


Рис. 4.5 - Графік розрахункової гарантійної відмови щодо меж критичного зносу муфт АКПП великовантажного самоскида

АКПП, металеві пластини муфти включення.

На рис. 4.6 показаний графік результатів апроксимації залежностей зносу від напрацювання металевих пластин муфт включення АКПП великовантажного самоскида, на основі представлених нормативних та вимірних значень геометричних параметрів металевої пластини муфти включення АКПП великовантажного самоскида, а також отриманих в ході обчислень розрахункових

даних ступеня зношування для кожної металевої пластини, що розглядається.

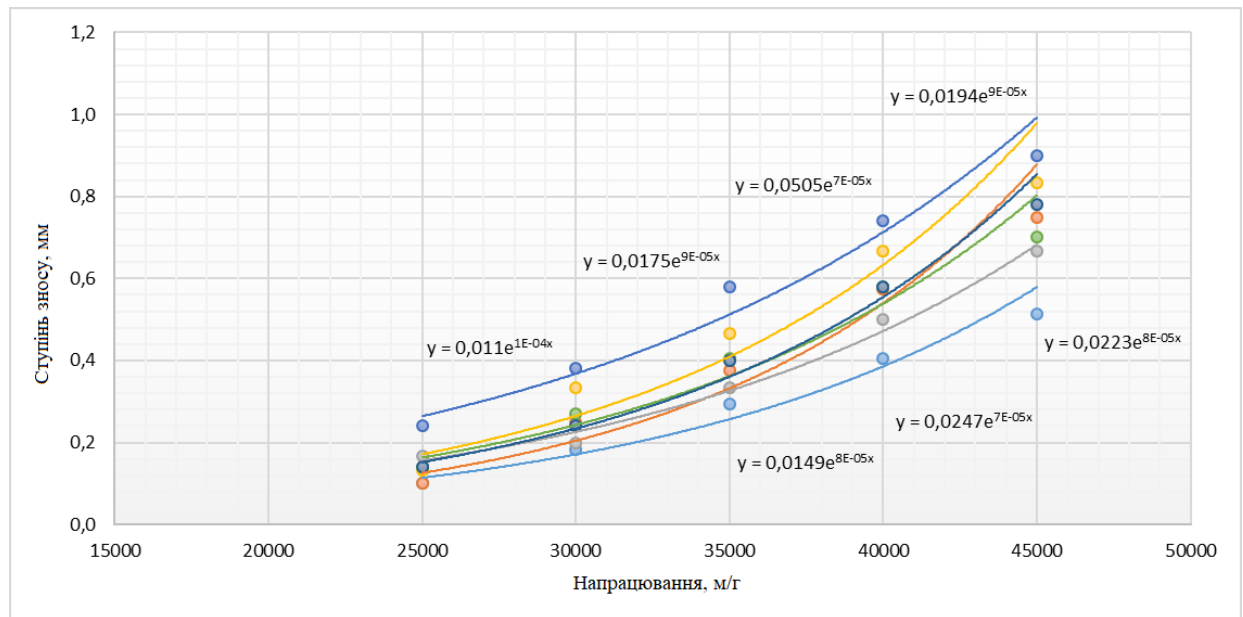


Рис. 4.6 - Результати апроксимації залежностей зносу від напрацювання металевих пластин муфт включення АКПП великовантажного самоскида

На рис. 4.7 показаний графік розрахункової гарантійної відмови щодо меж критичного зносу металевих пластин муфт АКПП великовантажного самоскида. Кордон критичного зносу становить 0,2 мм.

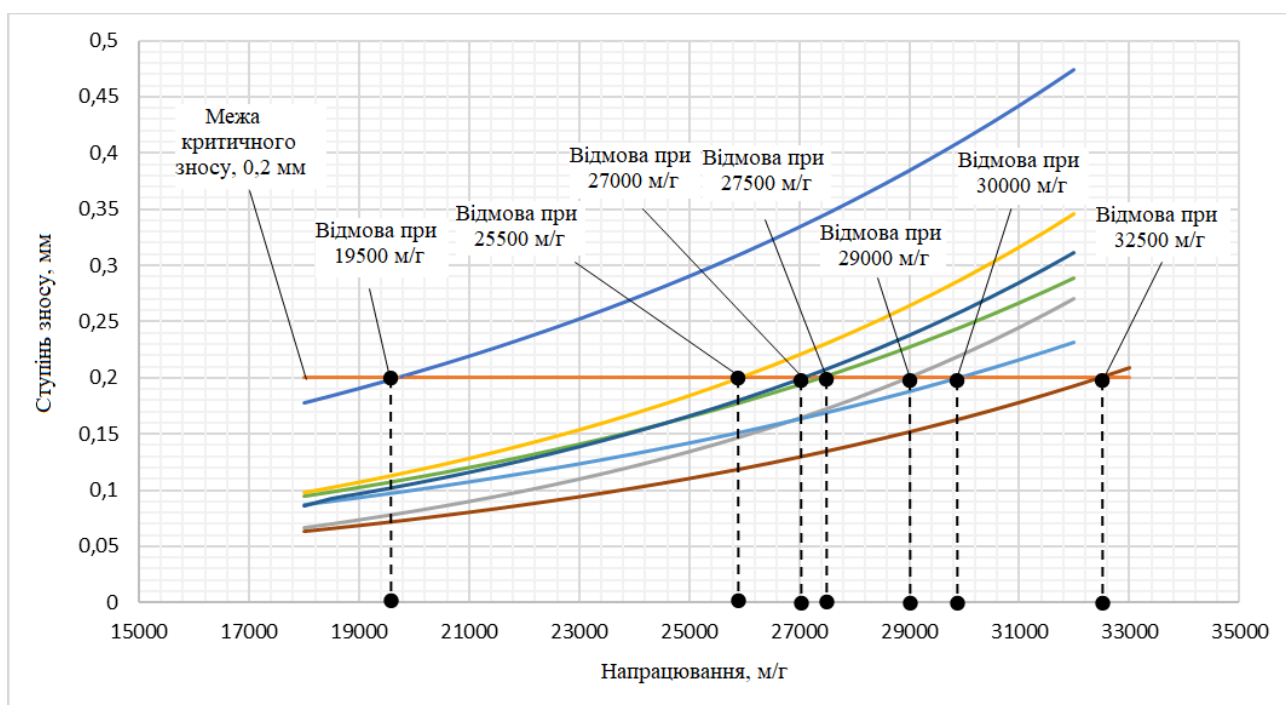


Рис. 4.7 - Графік розрахункової гарантійної відмови, щодо межі критичного зносу металевих пластин муфт АКПП великовантажного самоскида

АКПП, фрикційні диски муфти включення.

На рис. 4.8 показаний графік апроксимації залежностей зносу від напрацювання кожного фрикційного диска муфти включення АКПП великовантажного самоскида, на основі представлених нормативних та вимірних значень геометричних параметрів кожного фрикційного диска муфти включення АКПП великовантажного самоскида, а також отриманих в ході обчислень розрахункових даних ступеня зносу для кожного фрикційного диска.

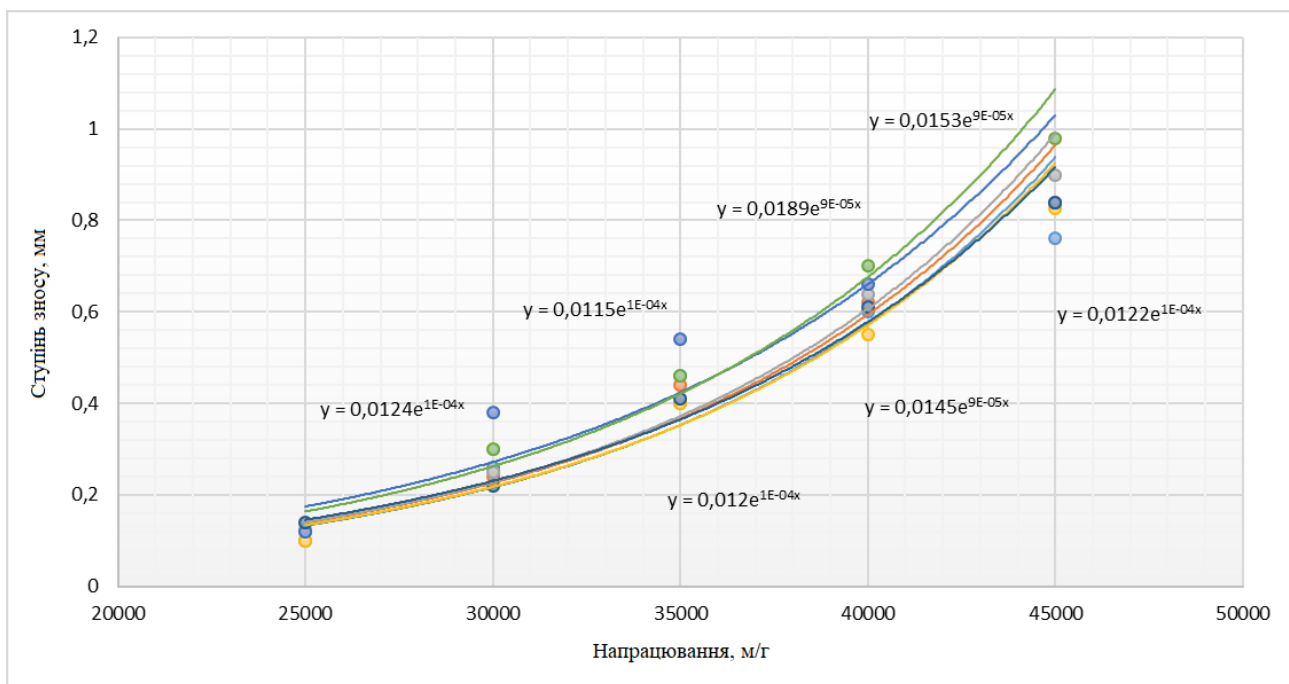


Рис. 4.8 - Результати апроксимації залежностей зносу від напрацювання фрикційних дисків муфти включення АКПП великовантажного самоскида

На рис. 4.9 показаний графік розрахункової гарантійної відмови щодо меж критичного зносу фрикційних дисків муфт АКПП великовантажного самоскида. Кордон критичного зносу становить 0,6 мм.

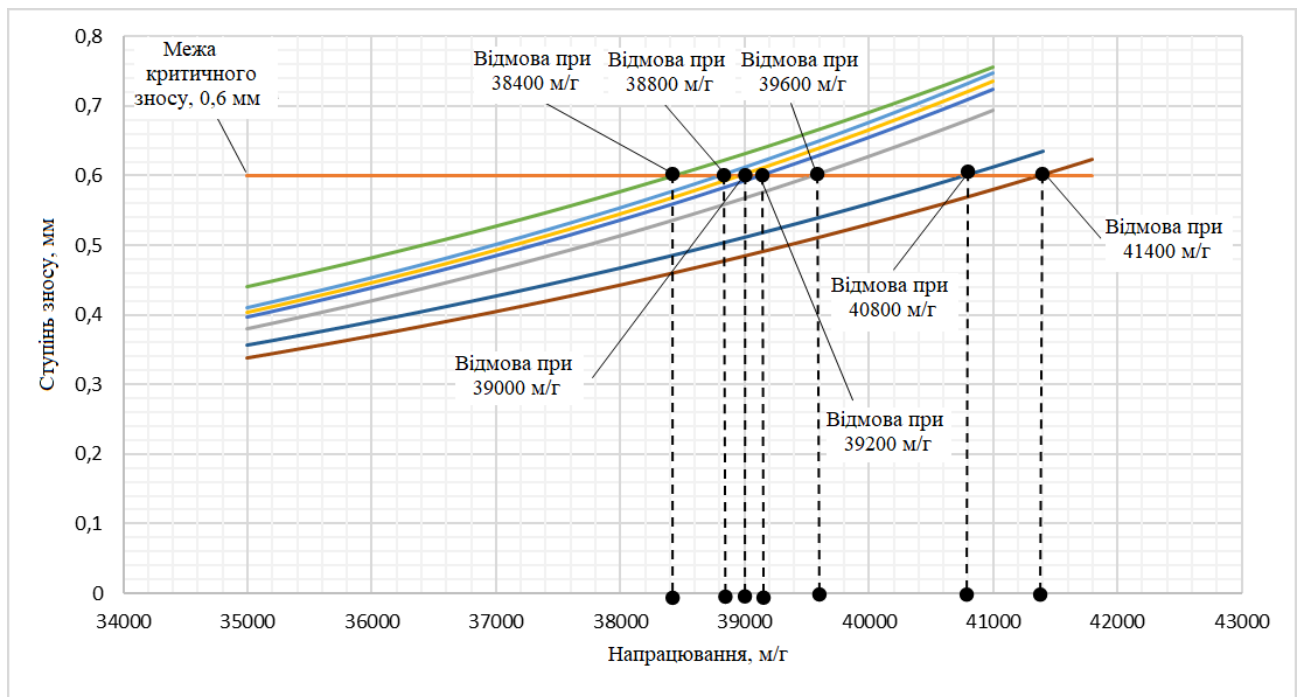


Рис. 4.9 - Графік розрахункової гарантійної відмови, щодо межі критичного зносу фрикційних дисків муфт АКПП великовантажного самоскида

АКПП, шайби сателітних шестерень.

На рис. 4.10 показаний графік апроксимації залежностей зношування від напруження кожної шайби сателітної шестерні АКПП великовантажного самоскида, на основі представлених нормативних та вимірних значень геометричних параметрів кожної шайби сателітної шестерні АКПП великовантажного самоскида, а також отриманих в ході обчислень розрахункових даних ступеня зношування для кожної шайби.

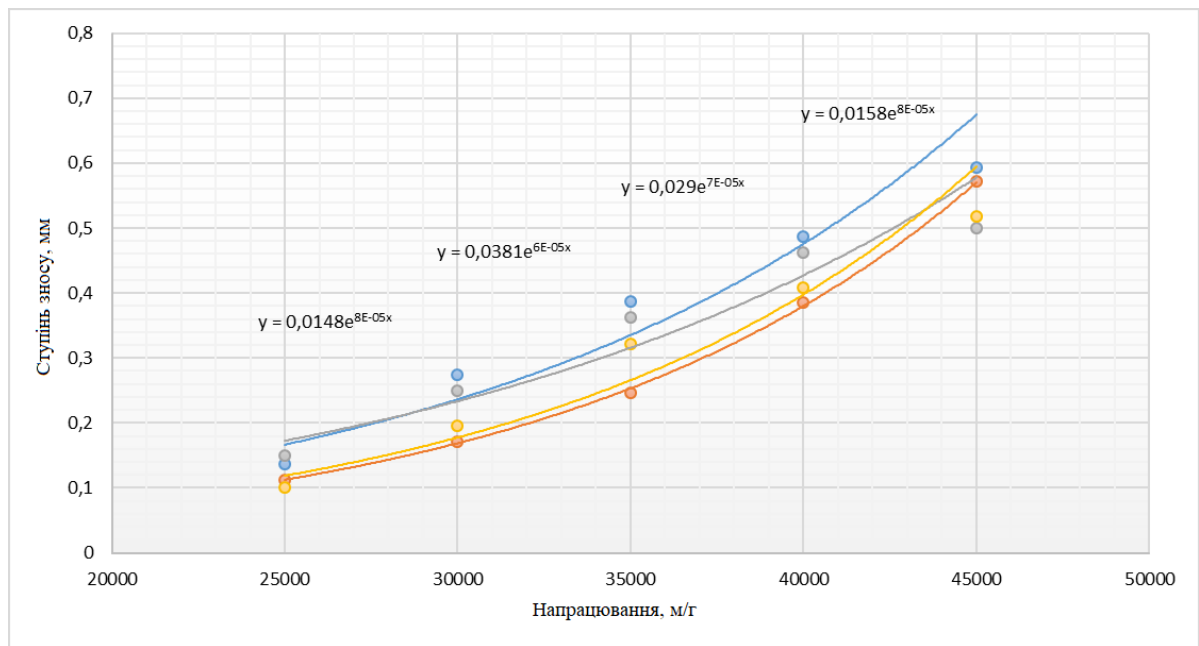


Рис. 4.10 - Результати апроксимації залежностей зносу від напруцювання шайб сателітних шестерень АКПП великовантажного самоскида

На рис. 4.11 показано графік розрахункової гарантійної відмови щодо меж критичного зносу шайб сателітної шестерні АКПП великовантажного самоскида. Кордон критичного зносу становить 0,5 мм.

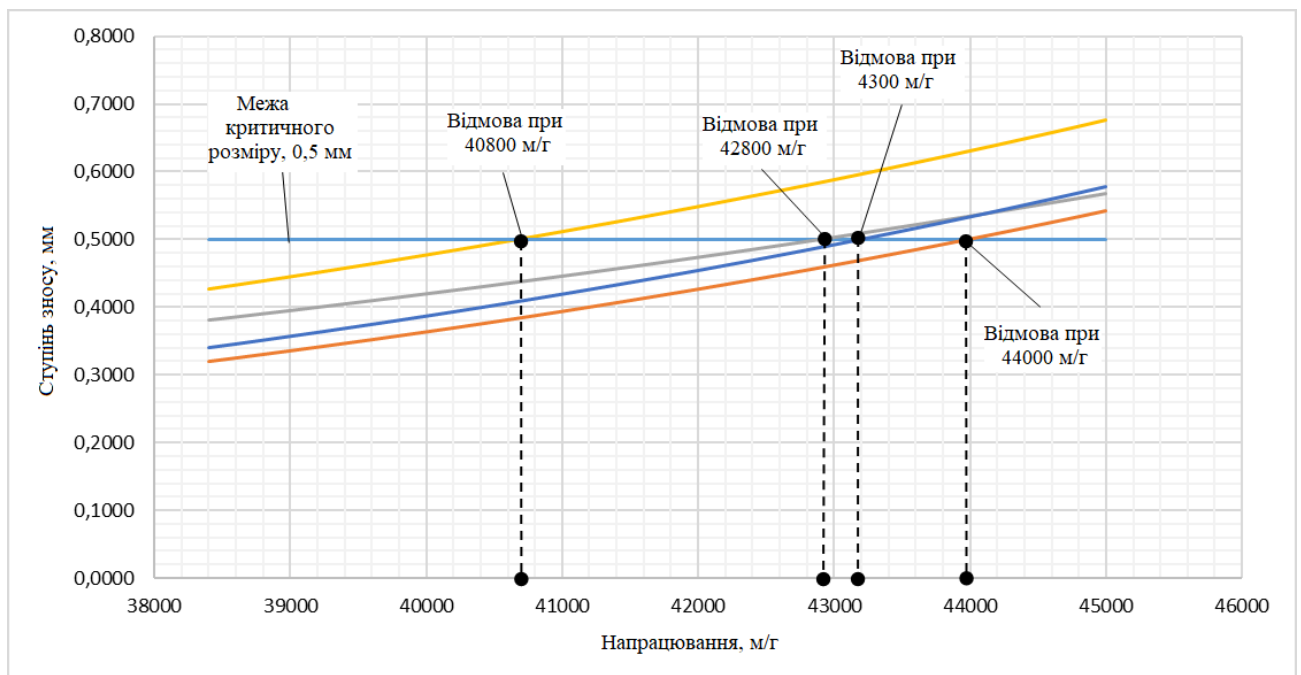


Рис. 4.11 - Графік розрахункової гарантійної відмови, щодо межі критичного зносу шайб сателітної шестерні АКПП великовантажного самоскида

Демпфер.

На рис. 4.12 показаний графік апроксимації залежностей зносу від напрацювання деталей демпфера ДВЗ великовантажного самоскида, на основі представлених нормативних та вимірних значень геометричних параметрів деталей демпфера ДВЗ великовантажного самоскида, а також отриманих в ході обчислень розрахункові дані ступеня зношування.

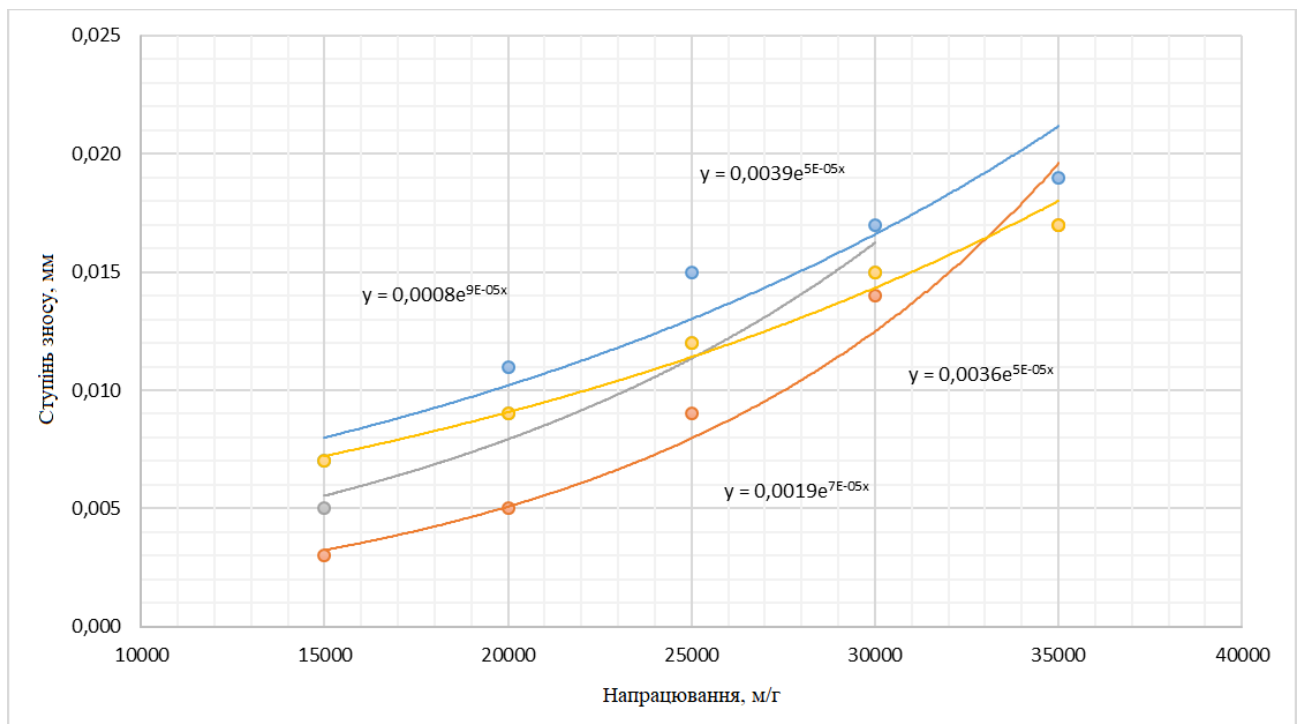


Рис. 4.12 - Результати апроксимації залежностей зносу від напрацювання демпфера ДВЗ великовантажного самоскида

На рис. 4.13 показано графік розрахункової гарантійної відмови щодо меж критичного зносу деталей демпфера ДВЗ великовантажного самоскида. Кордон критичного зносу становить 0,017 мм.

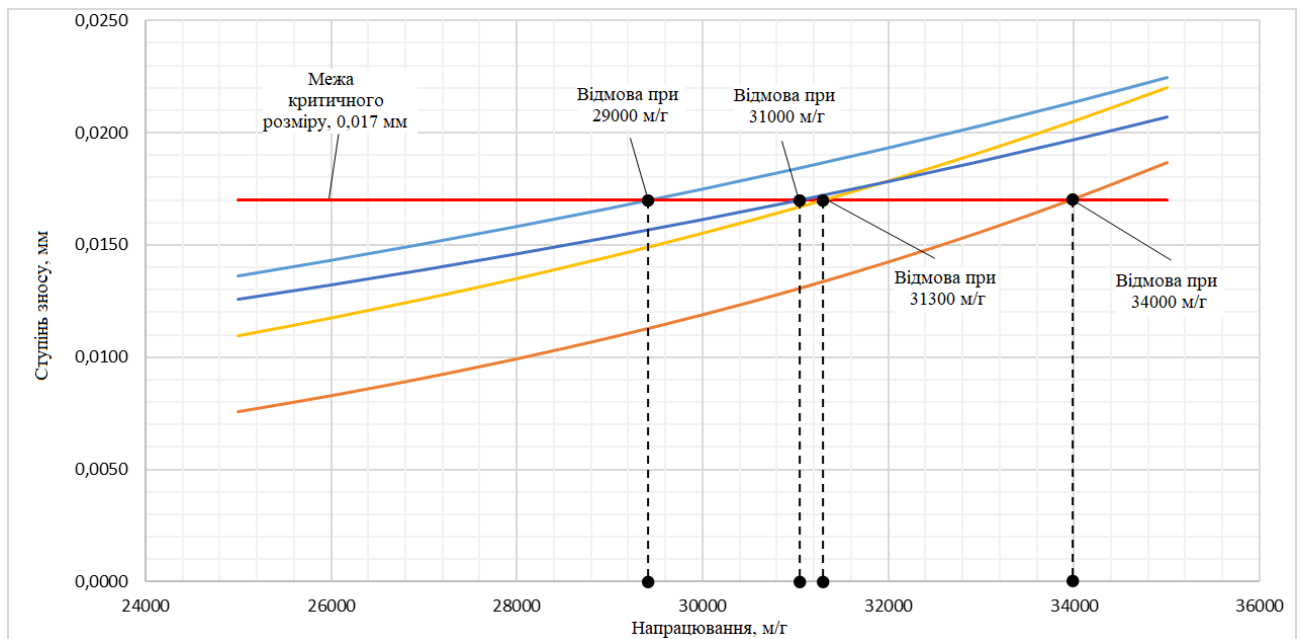


Рис. 4.13 - Графік розрахункової гарантійної відмови, щодо межі критичного зносу деталей демпфера ДВЗ великовантажного самоскида

Передня підвіска.

На рис. 4.14 показаний графік апроксимації залежностей зносу від напрацювання деталей елементів передньої підвіски великовантажного самоскида, на основі представлених нормативних та вимірних значень геометричних параметрів деталей елементів передньої підвіски великовантажного самоскида, а також отриманих в ході обчислень розрахункових даних ступеня зношування.

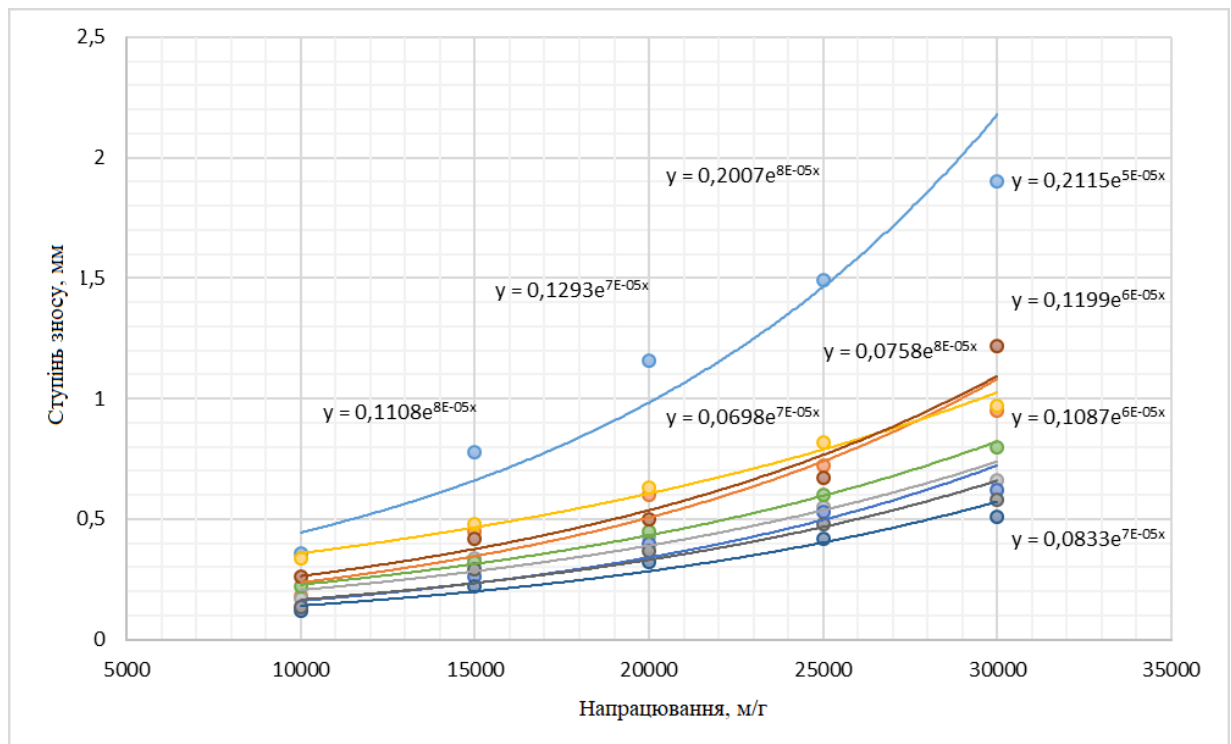


Рис. 4.14 - Результати апроксимації залежностей зносу від напрацювання деталей елементів передньої підвіски великовантажного самоскида

На рис. 4.15 показано графік розрахункової гарантійної відмови, щодо меж критичного зносу деталей елементів передньої підвіски великовантажного самоскида. Межі критичного зносу становлять 0,3 мм, 0,4 мм, 0,7 мм та 1 мм.

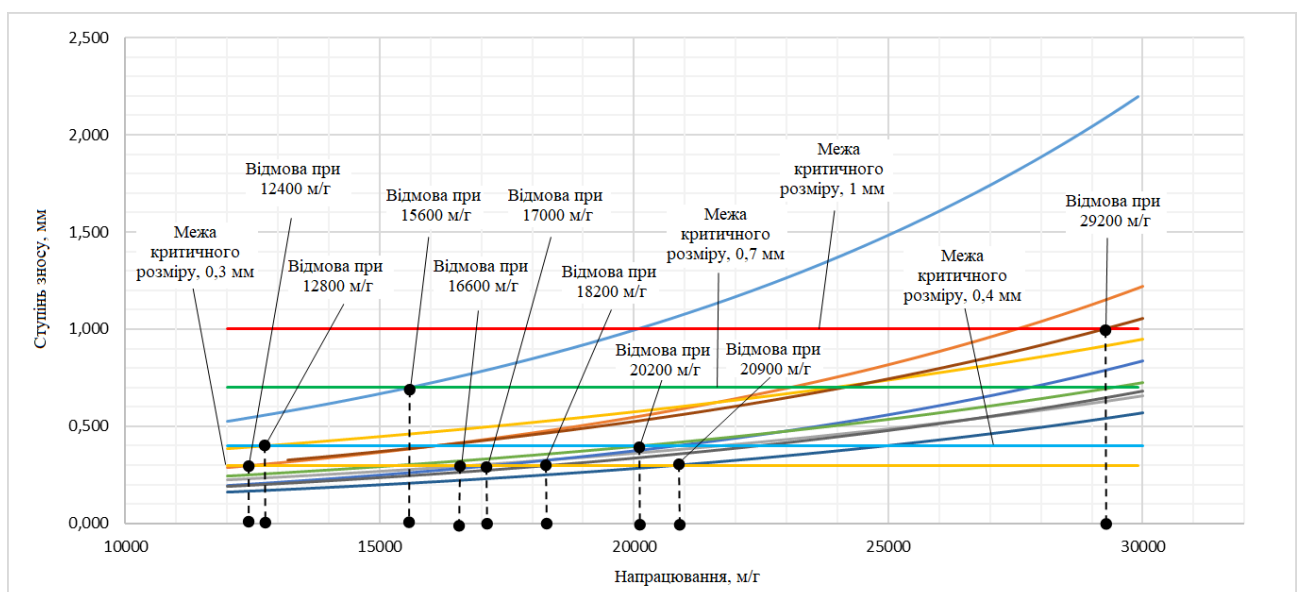


Рис. 4.15 - Графік розрахункової гарантійної відмови, щодо меж критичного зносу деталей елементів передньої підвіски великовантажного самоскида

4.3 Аналіз результатів математичного моделювання гарантійного напрацювання

Аналізуючи результати математичного розрахунку визначення розрахункової точності гарантійного напрацювання агрегатів після проведення ремонтних впливів проведеного в попередньому розділі можна з упевненістю сказати, що ця теорія вірна і потребує більш скрупульозного вивчення. На рис. 4.16 представлені результати порівняння даних при рекомендованому гарантійному напрацюванні агрегатів і механізмів на відмову, та розрахункове гарантійне напрацювання на відмову, отримане в ході математичних обчислень на підставі зібраних статистичних даних експлуатації великовантажних самоскидів.

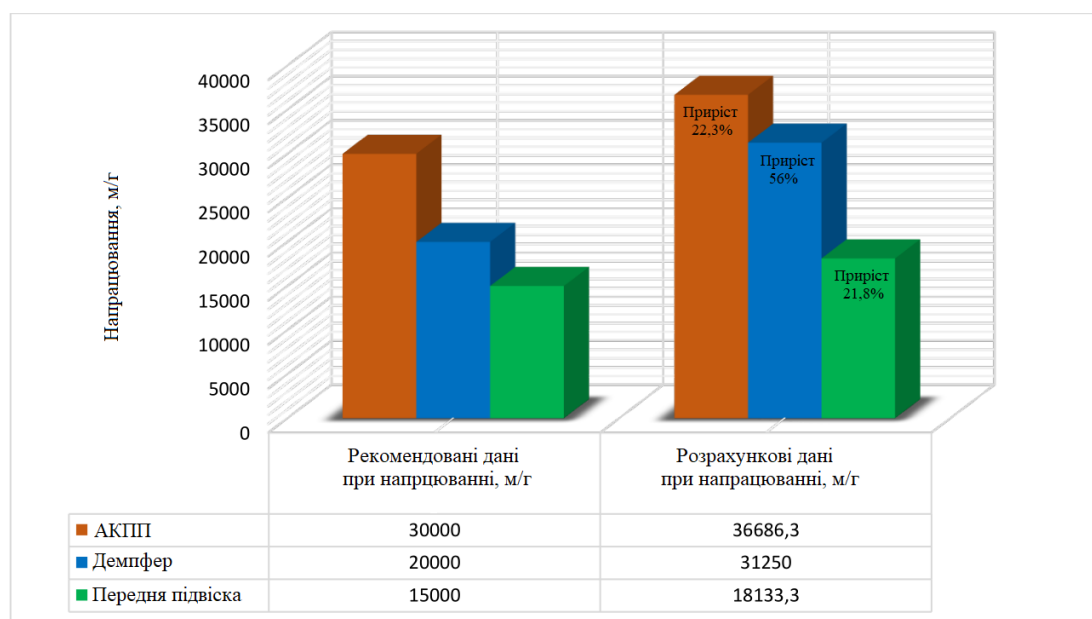
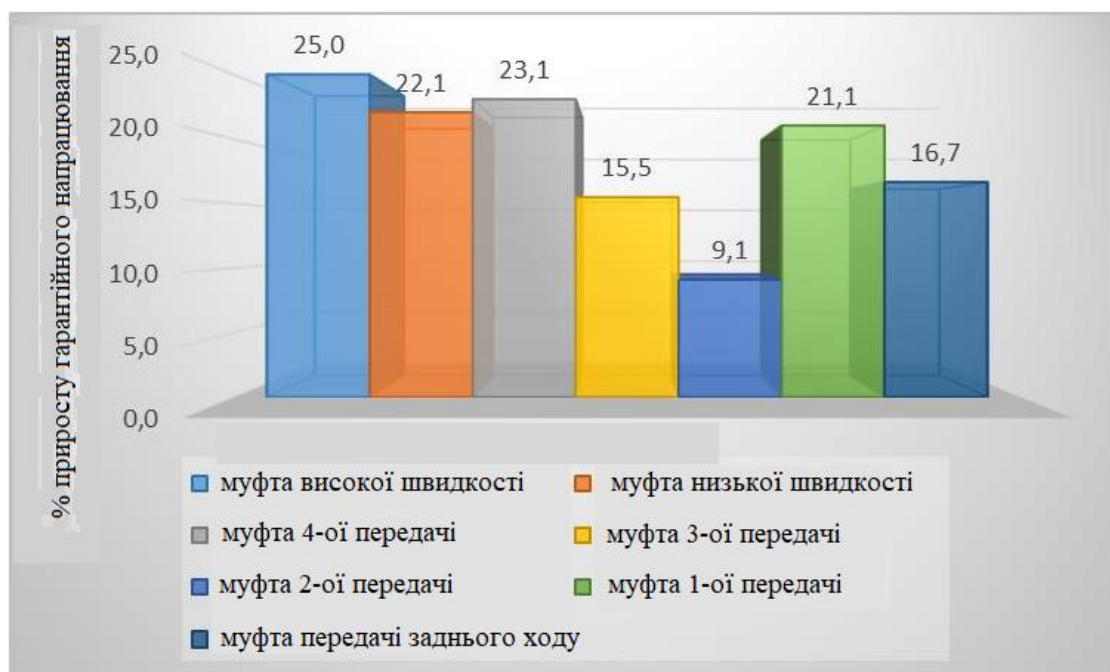


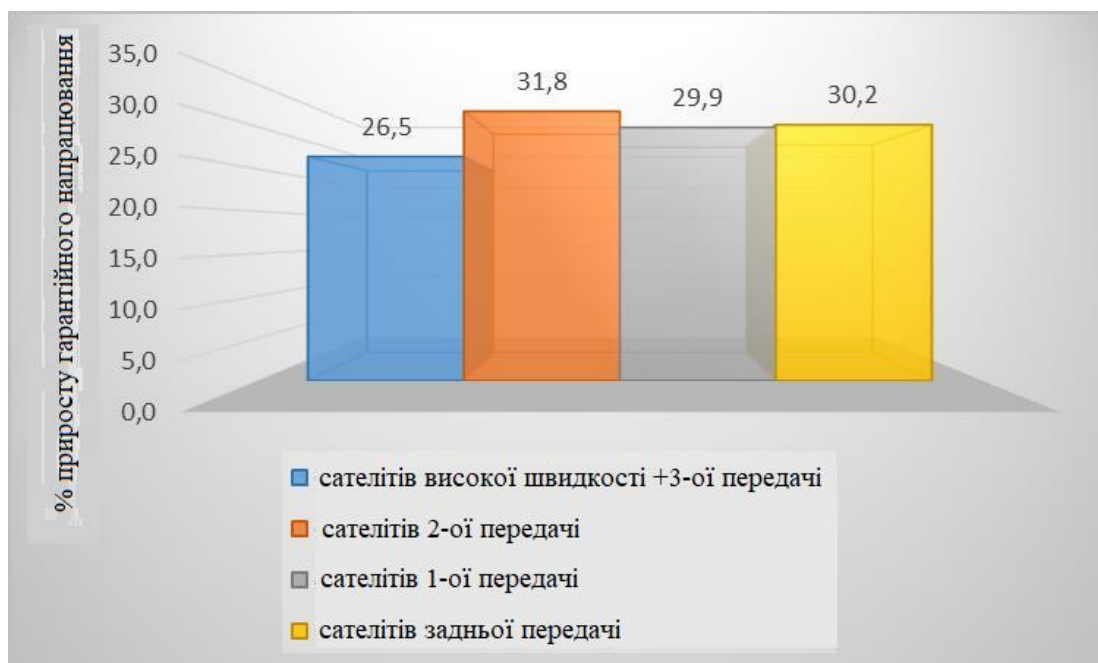
Рис. 4.16 - Результати порівняння даних при рекомендованому та розрахунковому гарантійному напрацюванні агрегатів та механізмів великовантажного самоскида

За даними розрахунку приріст гарантійного напрацювання на відмову за обраними агрегатами та механізмами становить: автоматична коробка перемикачів передач - 22,3 %; демпфер - 56%; елементи передньої підвіски - 21,8%. Варто зазначити, що результати гарантійного напрацювання, рис. 4.16, вказані загальні дані, без розбивки на окремі групи.

На рис. 4.17 представлені результати приросту розрахункового напрацювання на окремі групи деталей АКПП великовантажного самоскида, муфти включення (а), сателітів шайби (б).



а



б

Рис. 4.17 - Результати приросту розрахункового доробку до гарантійної на окремі групи деталей АКПП великовантажного самоскида, муфти включення (а), шайби сателітів (б)

У таблиці 4.1 наведено значення відношення гарантійного напрацювання до розрахункового напрацювання (приріст у відсотковому співвідношенні) окремих груп деталей АКПП великовантажного самоскида Komatsu HD785-7.

Таблиця 4.1

Значення відношення гарантійного напрацювання до розрахункового
напрацювання окремих груп АКПП

Найменування	Гарантійне напрацюва ння, м/г	Розрахункове напрацювання/ приріст	
		м/г	%
Муфти включення у зборі			
Загальна товщина 5 дисків та 4 пластин у зборі муфти високої швидкості	30000	40000	25,0
Загальна товщина 5 дисків та 4 пластин у зборі муфти низької швидкості	30000	38500	22,1
Загальна товщина 4 дисків та 3 пластин у зборі муфти 4 передачі	30000	39000	23,1
Загальна товщина 4 дисків та 3 пластин у зборі муфти 3 передачі	30000	35500	15,5
Загальна товщина 5 дисків та 5 пластин у зборі муфти 2 передачі	30000	33000	9,1
Загальна товщина 5 дисків та 5 пластин у зборі муфти 1 передачі	30000	38000	21,1
Загальна товщина 5 дисків та 5 пластин у зборі муфти заднього ходу	30000	36000	16,7
Середнє значення:		37143	18,2
Упорні шайби сателітних шестерень			
Упорна шайба (сателітів високої швидкості та 3-ї передачі)	30000	40800	26,5
Упорна шайба (сателітів 2-ї передачі)	30000	44000	31,8
Упорна шайба (сателітів 1-ї передачі)	30000	42800	29,9
Упорна шайба (сателіта заднього ходу)	30000	43000	30,2
Середнє значення:		42650	29,6

Рекомендоване напрацювання статичне і не змінюється. Розрахункове напрацювання змінюватиметься від виду ремонту розмірних ланцюгів, а також розмірних параметрів нових деталей.

Виходячи з цього, при правильному підході з наукової та експлуатаційної точки зору до процесу проведення поточних та капітальних ремонтних впливів,

маючи нормативні розміри геометричних параметрів деталей агрегатів та механізмів, а також грамотний збір статистики відмов та ремонтів можна відсунути межу гарантійного напрацювання агрегатів великовантажних самоскидів на більш дальній термін. Це дасть можливість доцільніше, економічно вигідно, сплановано підійти до процесу ремонту техніки на виробничих майданчиках гірничовидобувних підприємств.

Висновки до розділу

В ході експериментальних досліджень були отримані статистичні та розрахункові дані про гарантійне напрацювання аналізованих агрегатів і механізмів великовантажних самоскидів HD785-7. У нашому випадку для розрахунку було взято основні, у зносомому понятті, частини АКПП, демпфер та елементи передньої підвіски.

Встановлено, що теоретично розроблена та прорахована методика може бути використана на практиці в умовах виробничих майданчиків гірничовидобувних підприємств для збільшення гарантійного напрацювання агрегатів та механізмів після проведення поточного та капітальних ремонтів, маючи при цьому всі накопичені статистичні дані відмов, розмірні геометричні параметри деталей агрегатів та механізмів.

Було проведено роботу з визначення структури відмов, всі відмови аналізованих агрегатів і механізмів пов'язані зі зносом.

Зробили порівняння нормативних гарантійних напрацювань агрегатів та механізмів, рекомендованих заводом виробником із гарантійними напрацюваннями, отримані в ході розрахунків. За даними розрахунку приріст гарантійного напрацювання на відмову за обраними агрегатами та механізмами становить: автоматична коробка перемикачів передач - 22,3 %; демпфер - 56%; елементи передньої підвіски - 21,8%. Згідно з результатами можна дійти висновку, що дана методика має місце і заслуговує на окрему увагу для розвитку в умовах виробничих майданчиків гірничовидобувних підприємств України.

РОЗДІЛ 5. Економічна доцільність впровадження

5.1 Порівняння витрат при гарантійних та розрахункових напрацюваннях

Для розуміння всіх аспектів проведення гарантійних ремонтів агрегатів великовантажних самоскидів Komatsu HD785-7 проведемо порівняння двох підходів, які існують:

- стандартний підхід проведення гарантійних ремонтів, передбачених заводом виробником, тобто. завод-виробник дає рекомендовані напрацювання до проведення капітальних ремонтів основних агрегатів, і далі гарантійне напрацювання після проведення капітального ремонту має становити не менше 75-80% від напрацювання нового агрегату.

- розрахунковий підхід до проведення гарантійних ремонтів змінюється залежно від поточного стану агрегату. При відмові агрегату проводиться його розбирання, оцінка та вимірювання розмірних параметрів деталей, що відмовили, і далі приймається рішення про заміну деталей на нові, аналоги або б/в (відновлені) і надається гарантія на той вид ремонту і ті комплектуючі деталі які піддалися заміні за згодою замовника ремонту, яка може відрізнятися від передбаченої як передбаченої.

Відповідно, у кожному з цих випадків витрати на трудомісткість і всі накладні витрати не ставитимуться до виконавця ремонтів.

У таблиці 5.1 наведено витрати Замовника при стандартному підході до проведення капітального ремонту агрегату, без урахування вартості запасних частин та витратних матеріалів, а також транспортних витрат на їх доставку до місця проведення ремонту.

Таблиця 5.1

Витрати Замовника при стандартному підході до капітального ремонту агрегатів

Вид ремонтної дії	Виконавець	Трудовісткість, люд./год.	Вартість люд./год. грн.	Сума, грн. (без ПДВ)
Розбирання, дефектування АКПП. Підготовка до збирання.	Механік із сервісу	71	1800	84237
Складання АКПП	Механік по сервісу	30	1800	54000
РАЗОМ:		101	-	138237

У таблиці 5.2 представлені витрати Виконавця за стандартного підходу до проведення капітального ремонту агрегату з урахуванням витрат на утримання одного працівника. Витрати одного працівника входять:

- заробітну плату;
- проїзд до місця роботи та назад;
- податки відрахування;
- інструменти;
- харчування;
- проживання;
- проходження щорічних медичних оглядів;

Таблиця 5.2

Витрати Виконавця за стандартного підходу до капітального ремонту агрегатів

Вид ремонтної дії	Виконавець	Трудовісткість, люд./год.	Витрати працівника, грн. (без ПДВ)
Розбирання, дефектування АКПП. Підготовка до збирання.	Механік із сервісу	71	33695
Складання АКПП	Механік із сервісу	30	21600
РАЗОМ:		101	55295

У таблиці 5.3 наведено витрати Замовника при розрахунковому методі підходу до проведення капітального ремонту агрегату, без урахування вартості запасних частин та витратних матеріалів, а також транспортних витрат на їх

доставку до місця проведення ремонту.

Заробітна плата слюсаря з ремонту агрегатів 6 розряду в сучасних ринкових умовах може змінюватись у широкому діапазоні залежно від умови, місця проведення робіт, а також умов роботодавця. Для розрахунку заробітної плати використовується формула:

$$Z_{\text{слюсаря}} = S_T \cdot k_p \cdot k_m, \quad (5.1)$$

де S_T - тарифна ставка слюсаря з ремонту агрегатів 6 розряду; 75 грн

k_p - районний коефіцієнт, що відповідає місцевості;

k_m - місцевий коефіцієнт, що відповідає місцевості.

Для слюсаря з ремонту агрегатів 6 розряду районний коефіцієнт k_p для рівним 1,5, місцевий коефіцієнт k_c приймаємо 1,3 відповідно до положення по даному регіону.

Заробітна плата інженера - механіка розраховується за такою формулою:

$$Z_{\text{інж.мех.}} = S_o \cdot k_p \cdot k_m, \quad (5.2)$$

де S_o - оклад інженера - механіка; 78,5 грн./год.

k_p - районний коефіцієнт, що відповідає місцевості;

k_m - місцевий коефіцієнт, що відповідає місцевості.

Для інженера - механіка районний і місцевий коефіцієнт становлять відповідно $k_p = 1,5$ і $k_m = 1,3$. Розрахункові дані представлені у таблиці 5.3.

Таблиця 5.3

Витрати Замовника при розрахунковому методі підходу до капітального
ремонту агрегатів

Вид ремонтної дії	Трудовісткість, люд./год.	Виконавець	Фонд оплати праці, грн.		Сума, грн. (без ПДВ)
			Тарифна ставка	Оклад	
Розбирання АКПП	100	Слюсар з ремонту агрегатів (6 розряд)	190	-	37050
Дефектування. Вимірювання розмірних параметрів розмірного ланцюга деталей АКПП	42	Інженер- механік	-	31000	11683,56
Проведення розрахунків згідно з отриманими розмірними даними	24	Інженер- механік	-	31000	6676,32
Заміна деталей, розміри яких за нормативний розмір. Складання АКПП	105	Слюсар з ремонту агрегатів (6 розряд)	190	-	38902
РАЗОМ:					55410

У таблиці 5.4 представлені витрати Виконавця під час розрахункового методу підходу до проведення капітального ремонту агрегату з урахуванням витрат на утримання одного працівника.

Таблиця 5.4

Витрати Виконавця під час розрахункового методу підходу до капітального ремонту агрегатів

Вид ремонтної дії	Виконавець	Трудомісткість, люд./год.	Витрати працівника, грн. (без ПДВ)
Розбирання АКПП	Механік із сервісу	100	51870
Дефектування. Вимірювання розмірних параметрів розмірного ланцюга деталей АКПП	Механік із сервісу	42	16608
Проведення розрахунків згідно з отриманими розмірними даними	Механік із сервісу	24	9347
Заміна деталей, розміри яких за нормативний розмір. Складання АКПП	Механік із сервісу	105	54463
РАЗОМ:		271	132288

Вартість запасних частин та матеріалів, включаючи транспортні витрати при стандартному підході до капітального ремонту АКПП становить 1261047 грн., розрахунковий період 2024 рік. Вартість запасних частин при розрахунковому підході до капітального ремонту АКПП становить 708329 грн. на розрахунковий період 2024 року.

На рис. 5.1 представлений порівняльний аналіз витрат за стандартного та розрахункового підходу до капітального ремонту АКПП.

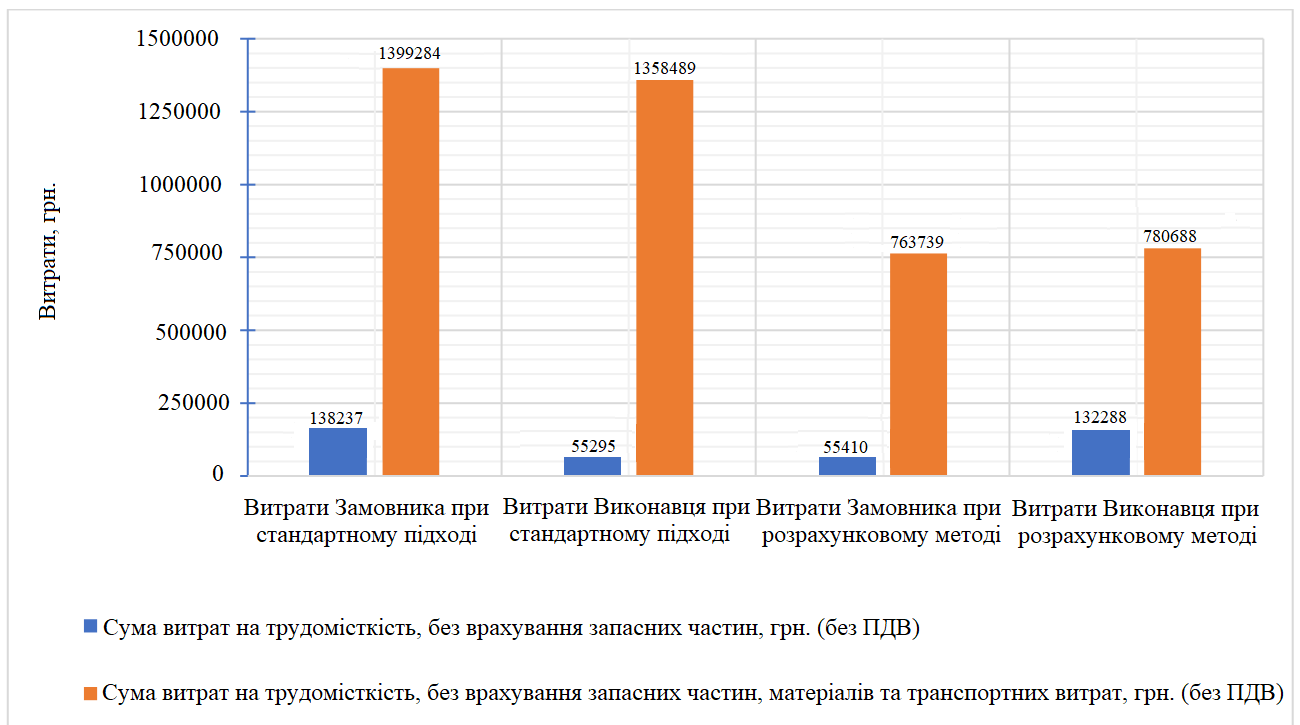


Рис. 5.1 - Результати порівняльного аналізу витрат на капітальний ремонт АКПП великовантажного самоскида Komatsu HD785-7 за стандартного та розрахункового підходу

Виходячи з даного аналізу витрат на капітальний ремонт АКПП великовантажного самоскида Komatsu HD785-7 можна зробити висновок, що навіть при збільшенні трудомісткості та складності виконання даного капітального ремонту при розрахунковому підході є більш кращим, щодо стандартного підходу, так як витрати на запасні матеріали і транспортні витрати значно менше при збереженні гарантійного напрацювання щонайменше на 75 – 80% від напрацювання нового агрегату. Вартість витрат при розрахунковому підході до капітального ремонту АКПП становлять на 708329 грн., що на 56% менше, ніж за стандартного підходу.

Висновки до розділу

При аналізі витрат на капітальний ремонт стосовно автоматичної коробки перемикачів передач великовантажного самоскида Komatsu HD785-7 виходить, що розрахунковий підхід до ремонту менш витратний ніж стандартний, навіть зі збільшенням трудомісткості виконання робіт. Витрати при розрахунковому підході менші на 56%, щодо стандартного.

ВИСНОВКИ

1. Встановлено, що чинна система поточного та капітального ремонту великовантажних самоскидів є неефективною та витратною, оскільки рішення про ремонт часто приймаються за відмовою, без належної уваги до розмірних параметрів вузлів та агрегатів. Такий підхід призводить до високої частки аварійних відмов та унеможлиблює встановлення точних і обґрунтованих гарантійних термінів напрацювання агрегатів.

2. Розроблено теоретичну та методичну базу для вирішення проблеми гарантійних ремонтів, що включає математичну модель ресурсних відмов на основі геометричних характеристик точності та детальну методику експериментальних досліджень. Ця база дозволяє прогнозувати знос, обґрунтовувати раціональні гарантійні терміни та, за умови правильного застосування, відсунути межу гарантійного напрацювання на більш дальній термін.

3. Встановлено, що застосування розрахункового підходу, який базується на прогнозуванні зносу геометричних параметрів, дозволяє знизити прямі витрати на запасні частини та матеріали на 56 % порівняно зі стандартною практикою повної заміни вузлів за рекомендаціями заводу-виробника. При цьому гарантійне напрацювання відновленого агрегату(на прикладі АКПП Komatsu HD785-7) зберігається на рівні не нижче 75–80 % від ресурсу нового виробу, а в середньому по вибірці досягає приросту 22,3 %.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Григоров О. Б., Коваленко І. А. Надійність та діагностика автомобільного транспорту: підручник. Київ: Видавничий Дім «Слово», 2020. 450 с.
2. Захаров А. С. Технічна експлуатація автомобілів: Навчальний посібник. Харків: ХНАДУ, 2018. 320 с.
3. Бажинов М. П., Шуляк В. В. Ремонт автомобілів і двигунів. Київ: Вища школа, 2017. 480 с.
4. Балтов О. А., Палій А. В. Методи підвищення ресурсу відновлених деталей машин. Житомир: ЖДТУ, 2019. 250 с.
5. Дроздов В. О., Карасьова Н. Ю. Математичні моделі прогнозування зносу та надійності технічних систем. Дніпро: Наука, 2021. 300 с.
6. Карвацький В. А. Організація та планування технічного обслуговування і ремонту машин. Львів: Політехніка, 2016. 350 с.
7. Коваленко Д. О., Лисенко В. І. Основи метрології та стандартизації: навчальний посібник. Київ: Ліра-К, 2019. 280 с.
8. Ходаков Д. Д. Розрахунок допусків і посадок у машинобудуванні. Одеса: Фенікс, 2015. 290 с.
9. Шульга В. В. Особливості ремонту гідромеханічних передач великовантажних машин. Технічні науки та технології. 2022. № 1(27). С. 110–118.
10. Гутаревич Ю. Ф., Калитко В. М. Автомобілі: основи конструкції та експлуатації. Київ: Арістей, 2018. 520 с.
11. Бойко В. А., Скрипник С. С. Економічна ефективність інноваційних технологій ремонту. Вісник економіки транспорту і промисловості. 2020. № 69. С. 98–105.
12. Касьянов В. А. Теорія і практика забезпечення надійності машин. Київ: Техніка, 2014. 380 с.
13. Кобернюк В. О. Прогнозування залишкового ресурсу деталей за критеріями зносу. Проблеми машинобудування. 2021. Т. 24, № 4. С. 65–72.
14. Журавльов М. Ф., Осадчук М. М. Системи технічного обслуговування

та ремонту гірничодобувної техніки. Кривий Ріг: КНУ, 2019. 310 с.

15. Дудченко А. А. Оцінка якості відновлених деталей машин за параметрами точності. Наукові праці ДДТУ. 2023. № 1(32). С. 45–53.

16. Хмельницький В. І., Романюк О. В. Експлуатаційні властивості та ремонт трансмісій автомобілів. Вінниця: ВНТУ, 2016. 270 с.

17. Поліщук В. Г., Скобло Ю. С. Технічна експлуатація автомобілів. Київ: Інкос, 2017. 464 с.

18. Paliychuk V. V., Gorpinich M. V. The economic substantiation of repair technologies for heavy-duty dump trucks based on dimensional analysis. International Journal of Vehicle Mechanics. 2024. Vol. 12. P. 15-25.

19. Komatsu Ltd. Technical Manual: HD785-7 Dump Truck. Tokyo: Komatsu Publishing, 2015.

20. ISO 19005-1:2005. Document management – Electronic document file format for long-term preservation – Part 1: Use of PDF 1.4 (PDF/A-1).

21. ДСТУ 2708:2006 (ISO/IEC 17025:2005, IDT). Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій. Київ: Держспоживстандарт України, 2006.

22. ДСТУ ГОСТ 2.105:2006. Єдина система конструкторської документації. Загальні вимоги до текстових документів. Київ: Держспоживстандарт України, 2006.

23. ДСТУ 3450-96. Надійність техніки. Терміни та визначення. Київ: Держстандарт України, 1996.

24. ДСТУ 3460-96. Ремонт техніки. Терміни та визначення. Київ: Держстандарт України, 1996.

25. ДСТУ 3552-97. Технічна діагностика. Терміни та визначення. Київ: Держспоживстандарт України, 1997.

26. ДСТУ 3.1200:2018. Технічні вимоги до ремонту обладнання. Загальні положення. (Заміна ГОСТ на чинний український стандарт).

27. ТУ У 29.3-38012101-001:2018. Технічні умови на капітальний ремонт гідромеханічних передач великовантажних самоскидів. Житомир: [ТОВ

«Агротраксервіс»], 2018.

28. Технічний регламент безпеки машин та обладнання. Затверджено Постановою Кабінету Міністрів України від 30.01.2013 № 62. Офіційний вісник України. 2013. № 9. Ст. 301.

29. Офіційний сайт компанії Komatsu. Розділ Service & Parts. URL: <https://www.komatsu.com/en/service-parts/> (Дата звернення: 24.11.2025).

30. Наукова електронна бібліотека (НБУВ). Розділ "Транспорт". URL: <http://www.nbuv.gov.ua/> (Дата звернення: 24.11.2025).

31. Міжнародна організація зі стандартизації (ISO). Розділ "Standards for Mechanical Engineering". URL: <https://www.iso.org/> (Дата звернення: 24.11.2025).

32. Електронний ресурс "Промислова діагностика". Матеріали щодо неруйнівного контролю та технічної діагностики. URL: <https://www.promdiagnostika.com.ua/> (Дата звернення: 24.11.2025).

33. Сайт компанії ZF Aftermarket. Технічні бюлетені та посібники з ремонту автоматичних коробок передач. URL: <https://aftermarket.zf.com/> (Дата звернення: 24.11.2025).

34. База даних патентів України. Розділ "Техніка". URL: <https://sis.ukrpatent.org/> (Дата звернення: 24.11.2025).

35. Журнал "Автошляховик України". Онлайн-архів статей. URL: <https://avtoshliakh.com.ua/> (Дата звернення: 24.11.2025).