

Вінницький національний технічний університет  
Факультет машинобудування та транспорту  
Кафедра автомобілів та транспортного менеджменту

## МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

**«Підвищення ефективності ремонту двигунів автомобілів товариства з обмеженою відповідальністю «Гніванський гранітний кар'єр» шляхом запровадження планово-запобіжного ремонту»**

Виконав: студент 2-го курсу, групи 1АТ-20м  
спеціальності 274 – Автомобільний транспорт

Шевчук С.М.

Керівник: канд. екон. наук, доцент каф. АТМ

Огневий В.О.

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 р.

Опонент: \_\_\_\_\_

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 р.

Допущено до захисту

Завідувач кафедри АТМ

к.т.н., доц. Цимбал С.В.

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 р.

Вінницький національний технічний університет  
 Факультет машинобудування та транспорту  
 Кафедра автомобілів та транспортного менеджменту

Рівень вищої освіти II-й (магістерський)  
 Галузь знань – 27 – Транспорт  
 Спеціальність – 274 – Автомобільний транспорт  
 Освітньо-професійна програма – Автомобільний транспорт

**ЗАТВЕРДЖУЮ**  
**завідувач кафедри АТМ**  
**к.т.н., доцент Цимбал С.В.**

«    »                      2021 р.

**ЗАВДАННЯ**  
**НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Шевчуку Сергію Михайловичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Підвищення ефективності ремонту двигунів автомобілів товариства з обмеженою відповідальністю «Гніванський гранітний кар'єр» шляхом запровадження планово-запобіжного ремонту, керівник роботи Огневий Віталій Олександрович, к.е.н., доцент,  
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ВНТУ від «24» вересня 2021 року № 277.

2. Строк подання студентом роботи: 08.12.2021 р.

3. Вихідні дані до роботи: Вимоги до конструкції та експлуатації автотранспортних засобів (діючі міжнародні, державні, галузеві стандарти та технічні умови заводів-виробників автомобільної техніки); законодавство України в галузі безпеки руху, охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях; структура автопарку України; район експлуатації автомобілів – Україна; досліджувані моделі АТЗ – вантажні автомобілі; об'єкт дослідження – процес планово - запобіжного ремонту двигунів ЯМЗ-238, встановлених на кар'єрних автомобілях-самоскидах КрАЗ; похибка прогнозування досліджуваних показників не більше – 10%.

4. Зміст текстової частини:

1 Науково-технічне обґрунтування необхідності вдосконалення ефективності планово - запобіжного ремонту двигунів автомобілів товариства з обмеженою відповідальністю «Гніванський гранітний кар'єр»

2 Основи формування і вибору оптимальної структури та періодичності заміन зношених елементів двигунів кар'єрних автомобілів

3 Експериментальні дослідження дефектів, зносів і показників ремонтпридатності двигунів кар'єрного транспорту

4 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях

5 Вибір оптимальної структури планово-запобіжних ремонтів для двигунів ЯМЗ-238 і оцінка ефективності їх впровадження в виробництво

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

- 1-3 Тема, мета та завдання дослідження.  
4 Характер зміни витрат на заміну, в залежності від кількості одночасно замінних елементів.  
5-9 Характеристика розподілу відмов елементів двигуна ЯМЗ-238 в залежності від пробігу.  
10 Характер зміни питомих витрат на підтримку агрегату в працездатному стані в залежності від пробігу (на прикладі ЯМЗ-238). Ресурс основних деталей двигуна ЯМЗ-238.  
11-12 Криві розподілу технічного ресурсу двигунів ЯМЗ-238 для різних варіантів.  
13 Характеристика розподілу відмов і середніх значень ресурсів основних деталей двигуна ЯМЗ-238. Формування в групі основних деталей двигуна ЯМЗ-238 для одночасної їх заміни.  
14 Формування структури і періодичності планово - запобіжного ремонту двигунів ЯМЗ-238. Основні показники ремонтпридатності двигунів ЯМЗ-238.  
15 Результати розрахунку економічної ефективності планово - запобіжного ремонту двигуна ЯМЗ-238 від впровадження нової системи планово - запобіжного ремонту.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розв'язання основної задачі	Огневий В.О., доцент кафедри АТМ		
Економічна частина	Буренніков Ю.Ю., доцент кафедри АТМ		
Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	Дембіцька С.В., професор кафедри БЖДПБ		

7. Дата видачі завдання «27» вересня 2021 р.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вивчення об'єкту та предмету дослідження	27.09-04.10.2021	
2	Аналіз відомих рішень, постановка задач	27.09-04.10.2021	
3	Обґрунтування методів досліджень	27.09-04.10.2021	
4	Розв'язання поставлених задач	05.10-15.11.2021	
5	Формування висновків по роботі, наукової новизни, практичної цінності результатів	16.11-30.11.2021	
6	Виконання розділу «Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях»	08.11-21.11.2021	
7	Виконання розділу «Економічна частина»	08.11-21.11.2021	
8	Нормоконтроль МКР	01.12-08.12.2021	
9	Попередній захист МКР	09.12-10.12.2021	
10	Рецензування МКР	13.12-17.12.2021	
11	Захист МКР	20.12-24.12.2021	

Студент \_\_\_\_\_ Шевчук С.М.  
(підпис)

Керівник роботи \_\_\_\_\_ Огневий В.О.  
(підпис)

## АНОТАЦІЯ

УДК 621.431.(076)

Шевчук С. М. Підвищення ефективності ремонту двигунів автомобілів товариства з обмеженою відповідальністю «Гніванський гранітний кар'єр» шляхом запровадження планово-запобіжного ремонту. Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності – 274 – Автомобільний транспорт, освітньо-професійна програма – Автомобільний транспорт. Вінниця: ВНТУ, 2021. 125 с.

На укр. мові. Бібліогр.: 31 назв; рис.: 28; табл. 25.

У магістерській кваліфікаційній роботі досліджено закономірності впливу планово-запобіжного ремонту на ефективність ремонту двигунів автомобілів товариства з обмеженою відповідальністю «Гніванський гранітний кар'єр».

У загальній частині роботи обґрунтовано необхідність вдосконалення ефективності планово - запобіжного ремонту двигунів автомобілів товариства з обмеженою відповідальністю «Гніванський гранітний кар'єр».

У розрахунковій частині сформована і вибрана оптимальна структура і періодичність замін зношених елементів двигунів ЯМЗ-238.

В експериментальній частині досліджено дефекти, зноси і показники ремонтпридатності двигунів кар'єрного транспорту.

У розділі охорони праці опрацьовано такі питання, як мікроклімат, освітлення, шум, вібрація, електробезпека, пожежна безпека та безпека в надзвичайних ситуаціях

В економічній частині проведено розрахунок економічної ефективності від впровадження оптимального варіанту структури планово - запобіжних ремонтів двигунів.

Графічна частина складається з 15 плакатів із результатами дослідження.

Ключові слова: планово - запобіжний ремонт, двигун, автомобіль, періодичність, структура.

## SUMMARY

UDC 621.431(076)

Shevchuk SM Improving the efficiency of repair of car engines of the limited liability company "Gnivan Granite Quarry" by introducing planned and preventive repairs. Master's degree in the specialty - 274 - Road transport, educational and professional program - Road transport. Vinnytsia: VNTU, 2021. 125 p.

In Ukrainian language. Bibliogr. : 31 titles; fig. : 28; table 25.

In the master's qualification work the regularities of the influence of planned and preventive repairs on the efficiency of repair of engines of cars of the limited liability company "Gnivan Granite Quarry" are investigated.

In the general part of the work the necessity of improving the efficiency of planned and preventive repair of car engines of the limited liability company "Gnivan Granite Quarry" is substantiated.

In the calculation part the optimal structure and periodicity of replacements of worn-out elements of YaMZ-238 engines are formed and selected.

In the experimental part the defects, wear and indicators of maintainability of quarry transport engines are investigated.

The section on labor protection deals with issues such as microclimate, lighting, noise, vibration, electrical safety, fire safety and safety in emergencies.

In the economic part the calculation of economic efficiency from introduction of an optimum variant of structure of planned - preventive repairs of engines is carried out.

The graphic part consists of 15 posters with the results of the study.

Key words: planned - preventive repair, engine, car, periodicity, structure.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	9
РОЗДІЛ 1 НАУКОВО-ТЕХНІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ НЕОБХІДНОСТІ ВДОСКОНАЛЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПЛАНОВО - ЗАПОБІЖНОГО РЕМОНТУ ДВИГУНІВ АВТОМОБІЛІВ ТОВАРИСТВА З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ «ГНІВАНСЬКИЙ ГРАНІТНИЙ КАР'ЄР».....	13
1.1 Характеристика умов експлуатації та організації планово - запобіжного ремонту транспорту.....	13
1.2 Аналіз досліджень з питання вдосконалення організації планово - запобіжного ремонту автомобільної техніки.....	16
1.3 Основні напрямки вдосконалення організації планово - запобіжного ремонту двигунів транспорту.....	24
1.4 Аналіз діяльності товариства з обмеженою відповідальністю "Гніванський гранітний кар'єр" .....	25
1.4.1 Загальна характеристика підприємства.....	25
1.4.2 Аналіз складу, структури, стану і показників використання основних виробничих фондів підприємства.....	26
1.4.3 Аналіз складу, структури і стану рухомого складу.....	29
1.4.4 Аналіз виробничо-господарської діяльності підприємства.....	30
1.5 Аналіз стану існуючої виробничо-технічної бази товариства з обмеженою відповідальністю «Гніванський гранітний кар'єр».....	33
1.5.1 Огляд існуючої структури виробничо-технічної бази.....	33
1.5.2 Варіантний аналіз і оцінка стану виробничо-технічної бази і ступеня використання виробничої потужності.....	33
1.6 Висновки до першого розділу.....	36
РОЗДІЛ 2 ОСНОВИ ФОРМУВАННЯ І ВИБОРУ ОПТИМАЛЬНОЇ СТРУКТУРИ ТА ПЕРІОДИЧНОСТІ ЗАМІН ЗНОШЕНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ДВИГУНІВ АВТОМОБІЛІВ .....	37
2.1 Математична постановка задачі формування оптимальної структури та періодичності заміни зношених елементів двигунів автомобілів.....	38
2.2 Характер зміни складових, що входять в цільову функцію	

	7
оптимізації планово - запобіжного ремонту двигунів.....	42
2.2.1 Характер зміни питомих втрат доходу при знаходженні двигуна в планово - запобіжному ремонті.....	43
2.2.2 Характер зміни питомих витрат на заміну зношених елементів при знаходженні двигуна в планово – запобіжному ремонті.....	46
2.2.3 Характер зміни втрат внаслідок недовикористання ресурсу елементів двигуна при його перебуванні в планово-запобіжному ремонті.....	48
2.2.4 Характер зміни втрат внаслідок додаткової кількості розбирань-складань і припрацювання при знаходженні двигуна в планово-запобіжному ремонті.....	51
2.3 Вибір стратегії планово – запобіжного ремонту двигуна.....	54
2.4 Формування та вибір оптимальної структури та періодичності замін зношених елементів двигунів.....	58
2.4.1 Математичний опис зміни експлуатаційних витрат по розглянутих варіантах структури планово - запобіжного ремонту двигунів.....	58
2.4.2 Вибір варіантів і показників ремонтпридатності.....	60
2.4.3 Обґрунтування обмежень при виборі оптимального варіанта структури планово - запобіжного ремонту двигунів.....	62
2.4.4 Розробка алгоритму вибору оптимального варіанта структури планово - запобіжного ремонту двигуна.....	63
2.5 Висновки до другого розділу.....	65
РОЗДІЛ 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ДЕФЕКТІВ, ЗНОСІВ І ПОКАЗНИКІВ РЕМОНТОПРИДАТНОСТІ ДВИГУНІВ.....	66
3.1 Результати дослідження дефектів та зносів основних деталей двигуна ЯМЗ-238.....	67
3.2 Методика визначення показників ремонтпридатності двигунів автомобілів.....	82
3.3 Результати експериментальних досліджень показників ремонтпридатності двигунів при різних варіантах структури планово - запобіжного ремонту.....	86
3.4 Висновки до третього розділу.....	97
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ	

	8
СИТУАЦІЯХ .....	98
4.1 Аналіз умов праці .....	98
4.2 Організаційно-технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії.....	98
4.2.1 Мікроклімат.....	99
4.2.2 Освітлення.....	100
4.2.3 Шум.....	101
4.2.4 Вібрації.....	101
4.3 Організаційно-технічні рішення щодо забезпечення безпечної роботи	102
4.3.1 Електробезпека.....	103
4.4 Пожежна безпека.....	103
4.5 Безпека в надзвичайних ситуаціях.....	104
4.5.1 Розробка та розрахунок пункту спеціальної обробки (ПуСО)...	104
4.6 Способи дезактивації техніки і транспорту.....	105
4.7 Висновки до четвертого розділу.....	106
РОЗДІЛ 5 ВИБІР ОПТИМАЛЬНОЇ СТРУКТУРИ ПЛАНОВО-ЗАПОБІЖНИХ РЕМОНТІВ ДЛЯ ДВИГУНІВ ЯМЗ-238 І ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ЇХ ВПРОВАДЖЕННЯ В ВИРОБНИЦТВО.....	107
5.1 Уточнення складу груп деталей двигунів автомобілів, для одночасної їх заміни.....	107
5.2 Визначення оптимального варіанта структури планово - запобіжного ремонту двигунів ЯМЗ-238.....	113
5.3 Розрахунок економічної ефективності від впровадження оптимального варіанту структури планово - запобіжних ремонтів двигунів.....	117
5.4 Висновки до п'ятого розділу.....	121
ВИСНОВКИ .....	122
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	124
ДОДАТКИ.....	127
Додаток А.....	128
Додаток Б.....	132



## ВСТУП

**Актуальність роботи.** Подальший розвиток усіх галузей економіки країни, в тому числі і автомобільного транспорту, передбачено основними напрямками розвитку економіки.

Необхідність в автомобільних перевезеннях дуже швидко зростає. Тому, без поліпшення технічного стану рухомого складу, а, отже, без підвищення надійності і вдосконалення методів планово - запобіжного ремонту, інтенсифікація його використання неможлива.

У зв'язку з цим, завдання підвищення ефективності використання автомобільного транспорту набуває особливої актуальності, оскільки від продуктивності автомобільного транспорту і ступеня його технічної готовності, багато в чому залежить успішне виконання планів галузей економіки країни.

Однією з найважливіших завдань, підвищення ефективності роботи автомобільного кар'єрного транспорту, є якість їх управління в умовах експлуатації.

У питаннях вдосконалення і підвищення ефективності роботи автомобільного транспорту, значний внесок внесений працівниками вітчизняних вчених, а саме: Д.П. Велікановим, І.Є. Дюмін, Р.Н. Колегаєва, Е.С. Кузнецовим, Ю.В. Родіоновим та ін. Ними виконані фундаментні дослідження з питань надійності і довговічності, технології та організації планово - запобіжного ремонту автомобілів та їх агрегатів.

Треба відзначити, що застосовувана система планово - запобіжного ремонту в значній мірі визначає витрати на експлуатацію автомобільного кар'єрного транспорту. Підвищення технічного прогресу техніки і зміни вимог до її експлуатації постійно вимагають вдосконалення системи планово - запобіжного ремонту. Тому, однією з основних задач підвищення ефективності суспільного виробництва, є економічна оптимізація системи планово - запобіжного ремонту автомобільного кар'єрного транспорту.

Техніко-економічний аналіз, основних тенденцій розвитку планово - запобіжного ремонту рухомого складу автомобільного транспорту і його агрегатів, як показали проведені дослідження, як одного з найбільш перспективних напрямків, на даному етапі науково-технічного розвитку, є проведення планово - запобіжних ремонтів пов'язаних із заміною зношених елементів з організацією централізованого їх відновлення індустріальними методами. Такий підхід не суперечить і не перешкоджає розвитку інших прогресивних методів, а саме, вдосконалення організації і технології капітального ремонту автомобілів та їх агрегатів.

Порівняльний аналіз альтернативних стратегій планово - запобіжного ремонту автомобільних двигунів показав, що відновлення їх працездатності методом заміни зношених елементів, в умовах централізації цих робіт, є найбільш ефективним способом поліпшення використання потенційних властивостей і підвищення ефективності їх експлуатації.

Отже, завдання вдосконалення структури і періодичності планово - запобіжного ремонту, із застосуванням відновлення працездатності двигунів заміною зношених елементів, є досить актуальним.

### **Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.**

Робота виконувалась у відповідності з напрямками наукових досліджень кафедри автомобілів та транспортного менеджменту.

**Мета і завдання дослідження.** Мета роботи - підвищення ефективності планово - запобіжного ремонту дизелів автомобілів, які працюють в умовах кар'єрів за рахунок вдосконалення їх структури та періодичності.

Відповідно до поставленої мети в роботі вирішуються наступні завдання:

- розробити математичну модель оптимальної структури планово - запобіжного ремонту двигунів кар'єрного транспорту;
- розробити алгоритм для вибору оптимальної структури та періодичності планово - запобіжного ремонту двигунів кар'єрного транспорту;
- встановити оптимальну структуру і періодичність планово - запобіжного ремонту за амортизаційний термін служби двигунів кар'єрного транспорту;

- визначити економічну ефективність від впровадження оптимальної структури та періодичності планово - запобіжного ремонту двигунів;
- розробити заходи з охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях.

**Об'єкт дослідження** - процес планово - запобіжного ремонту двигунів ЯМЗ-238, встановлених на автомобілях-самоскидах КрАЗ.

**Предметом дослідження** є закономірності впливу планово-запобіжного ремонту на ефективність ремонту двигунів автомобілів товариства з обмеженою відповідальністю «Гніванський гранітний кар'єр»

**Методи дослідження.** Дослідження виконано шляхом формування нових підходів і наукової аргументації пропозицій на основі праць вітчизняних і зарубіжних вчених в області організації технічної експлуатації автомобільного транспорту. Методи дослідження - системний аналіз; еколого-економічний аналіз; математична статистика; теорія імовірності; математичне та імітаційне моделювання; теорія прийняття рішень, управління, надійності.

**Наукова новизна одержаних результатів:**

- номенклатура ремонтних комплектів, що підлягають заміні при проведенні планово - запобіжного ремонту ПР1 і ПР2;
- результати формування оптимальної структури та періодичності планово - запобіжного ремонту за амортизаційний термін служби двигуна ЯМЗ-238.

**Практичне значення одержаних результатів.** За результатами проведених досліджень: встановлений комплект вузлів і деталей, що підлягають заміні при проведенні планово - запобіжного ремонту № 1 і № 2 (ПР1 і ПР2); визначений економічно доцільний ресурс двигуна до його списання.

**Достовірність теоретичних положень** магістерської кваліфікаційної роботи забезпечена використанням для аналізу експериментальних даних стандартних пакетів прикладних програм і підтверджена збігом розрахункових і експериментальних даних.

**Апробація результатів роботи.** Проміжні результати досліджень були опубліковані серед матеріалів XIV міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту». – Вінниця: ВНТУ, 2021 р.

**Публікації.** Матеріали магістерської роботи висвітлені у 1 опублікованій науковій праці, з яких 1 – опублікована праця апробаційного характеру[18].



## РОЗДІЛ 1 НАУКОВО-ТЕХНІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ НЕОБХІДНОСТІ ВДОСКОНАЛЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПЛАНОВО - ЗАПОБІЖНОГО РЕМОНТУ ДВИГУНІВ АВТОМОБІЛІВ ТОВАРИСТВА З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ «ГНІВАНСЬКИЙ ГРАНІТНИЙ КАР'ЄР»

### 1.1 Характеристика умов експлуатації та організації планово - запобіжного ремонту транспорту

Одним з найважливіших способів забезпечення країни гранітною сировиною, є відкрита розробка родовищ. В Україні, в даний час, є потужні високомеханізовані кар'єри. Однак, постійно збільшується глибина кар'єрів і ускладнення умов виробництва видобутку граніту, веде не тільки до зниження ефективності роботи кар'єрного транспорту, а й до зменшення виробничої потужності кар'єрів.

Значне поглиблення гранітних кар'єрів призвело до збільшення крутизни схилів доріг, скорочення фронту гірничих робіт і робочих площадок, збільшення відстані транспортування, погіршення стану доріг та екології кар'єрів (запиленості та загазованості).

Треба відзначити, що наведені вище фактори роблять значний вплив на технічний стан вузлів і агрегатів кар'єрного транспорту, в тому числі і на двигун.

На більшості великих кар'єрах України постійно збільшується крутизна підйомів доріг та їх протяжність. Це призвело до того, що автомобіль який перевозить граніт, став постійно рухатися з вантажем на підйом з підвищеною крутизною кар'єрних доріг. При такій експлуатації значно зросли навантаження на основні деталі вузлів і агрегатів кар'єрного транспорту і збільшилася інтенсивність їх зносу. Треба відзначити, що частота відмов також зросла.

Повсюдне поглиблення кар'єрів призвело не тільки до зниження довжини екскаваторного блоку, але і одночасно створило додаткові труднощі при маневруванні кар'єрного транспорту. Водії стали частіше вдаватися до додаткового маневрування. Це призвело до того, що автомобіль став довше

працювати на знижених передачах, а двигун - на значних частотах обертання колінчастого вала. При цьому, охолодження стало менш ефективним, підвищився тепловий режим двигуна, і як наслідок, знос деталей різко збільшився.

Встановлено, що в глибоких кар'єрах значно зростає запиленість і загазованість робочого простору, викликаного виділенням шкідливих домішок працюючого обладнання, газами і пилом при виробництві вибухових робіт. Як наслідок сумарний час простоїв технологічного транспорту доходить до 10-12% робочого часу [12].

Встановлено, що відносні показники викидів шкідливих речовин в атмосферу на гранітних кар'єрах з року в рік безперервно зростають. Природні можливості повітрообміну кар'єрів зменшуються, а середні рівні їх запиленості та загазованості значно зростають. Це призводить до того, що шкідливі домішки, потрапляючи в циліндри двигуна, сприяють більш інтенсивному зносу деталей циліндро-поршневої групи, і як результат, витрати на технічне обслуговування і планово - запобіжний ремонт різко зростають.

Одним з найважливіших факторів підвищення продуктивності технологічного транспорту є чітка організація робіт по технічному обслуговуванню та планово - запобіжному ремонту [6]. У даний час для автотранспортних підприємств ефективними є системи технічного обслуговування та планово - запобіжного ремонту, які мають на меті підтримку технологічного транспорту в технічно справному стані.

При планово - запобіжному ремонті агрегатів технологічного транспорту, зношені та пошкоджені деталі та вузли замінюють без повного їх розбирання. Аналогічним чином, в основному, замінюють не більше двох вузлів. Наприклад, у двигунах - це заміна головки блоку циліндрів, паливного насоса високого тиску (ПНВТ), водяного насосу і т. д. Такі заміни проводять і по інших агрегатах технологічного транспорту.

Відомо, що єдино узаконеною формою відновлення працездатності агрегатів автомобіля, коли потрібно їх повне розбирання, є виконання капітального планово - запобіжного ремонту в умовах спеціалізованого

ремонтного підприємства. Насправді, деякі елементи капітального планово - запобіжного ремонту агрегатів присутні при їх планово - запобіжному ремонті в умовах АТП. Треба відзначити, що основні організаційні принципи такого планово - запобіжного ремонту, були розроблені ще в першій половині 20 століття. На превеликий жаль, вони збереглися і до теперішнього часу практично без змін, і в ряді випадків та стали бар'єром на шляху зниження витрат на планово - запобіжний ремонт.

За даними [14], відновленню працездатності агрегатів, шляхом проведення капітального планово - запобіжного ремонту на спеціалізованих підприємствах, притаманні всі ознаки сучасного індустріального планово - запобіжного ремонту. Однак, цей метод має ряд істотних недоліків, наприклад, тривалість простоїв становить 15-20 днів і більше [14]. Причому, вартість залишається високою, а якість - низькою.

На сьогодні планово - запобіжний ремонт двигунів в АТП здійснюється, як правило, з ініціативи підприємства за умови, якщо є в наявності запасні частини. Як поточний, так і планово - запобіжний ремонт в основному обумовлені відмовами окремих деталей і вузлів. Такий планово - запобіжний ремонт в основному зводиться до перебирання агрегатів і заміни зношених і пошкоджених деталей. Однак виконання планово - запобіжного ремонту має і позитивні сторони. Це, перш за все, більш висока якість планово - запобіжного ремонту, значний ресурс агрегатів після планово - запобіжного ремонту. До недоліків такої практики слід віднести: значні простої в ремонті; супутня заміна деталей зі значним запасом ресурсу; зношені та пошкоджені деталі, як правило, не відновлюють.

Таким чином, за результатами проведеного огляду умов експлуатації, можна зробити наступний висновок. Існуюча практика планово - запобіжного ремонту технологічного транспорту характеризується тривалістю простоїв в ремонті і значними трудовитратами на відновлення їх працездатності. Тому, вдосконалення організації планово - запобіжного ремонту є надзвичайно важливим напрямом у підвищенні ефективності використання ресурсу

агрегатів технологічного транспорту, зниженні витрат на проведення ремонту, що в кінцевому рахунку дозволить поліпшити показники ремонтпридатності.

## 1.2 Аналіз досліджень з питання вдосконалення організації планово - запобіжного ремонту автомобільної техніки

Будь-яка система планово - запобіжного ремонту, що застосовується на підприємствах, визначається, перш за все, кількістю планових ремонтів за весь термін служби, величинами міжремонтних періодів, обсягами і видами запланованих ремонтних робіт. Таким чином, при розробці системи планово - запобіжного ремонту двигунів кар'єрних великовантажних автомобілів-самоскидів, необхідно керуватися перерахованими вище параметрами і їх величини.

В даний час, питанням вдосконалення організації планово - запобіжного ремонту автомобільної техніки не приділяється належної уваги. Однак, рішенням завдань з визначення оптимальної стратегії планово - запобіжного ремонту займалися як вітчизняні, так і зарубіжні вчені. Треба відзначити, що при вирішенні даної проблеми вони підходили різними шляхами. Одні, при розробці основ системи структури та періодичності планово - запобіжного ремонту, використовували інформацію про доходи і витрати. Інші вважали за краще оперувати інформацією про довговічність деталей агрегатів і витратами на планово - запобіжний ремонт.

Нижче розглянемо деякі теоретичні дослідження з проблеми оптимізації систем планово - запобіжного ремонту об'єктів виробництва.

В основу оптимізації планово - запобіжного ремонту автомобільних двигунів, В.Н. Авдонькін [1] поклав ресурси деталей гільзо-поршневої групи, колінчастого валу і шатунних вкладишів, а також величину питомих витрат на підтримку двигуна в працездатному стані. Математична модель такого взаємозв'язку представлена у вигляді такої залежності:



$$C_{num} = \frac{C_1 + C_2 + C_{цнз}}{L_{пр} + L_2} \rightarrow \min, \quad (1.1)$$

де  $C_{num}$  - величина питомих витрат, грн. / км;

$C_1$  - вартість першого комплекту вкладишів і поршневих кілець, грн.;

$C_2$  - витрати, пов'язані із заміною вкладишів і поршневих кілець, грн.;

$C_{цнз}$  - вартість колінчастого валу, гільз циліндрів, поршнів і поршневих пальців, грн.;

$L_{пр}$  - ресурс двигуна до профілактичної заміни вкладишів і поршневих кілець, км;

$L_2$  - ресурс другого комплекту вкладишів і поршневих кілець, км.

Згідно представленої моделі, деталями які обмежують ресурс двигуна до планово - запобіжного ремонту, є циліндро-поршнева група, колінчастий вал і шатунні вкладиші. Від величини  $L_{пр} + L_2$ , буде залежати отримання мінімального значення питомих витрат на 1 км пробігу двигуна. Це обумовлено тим, що при проведенні відновлювальних робіт, значення  $C_1$ ,  $C_2$  і  $C_{цнз}$ , є величинами постійними. Тому, чим більша величина  $L_{пр} + L_2$ , тим менше значення питомих витрат на 1 км пробігу двигуна.

Недоліком даної моделі є те, що в ній враховуються тільки витрати, безпосередньо пов'язані з заміною деталей при проведенні планово - запобіжного ремонту. Крім того, в моделі не враховується величина залишкової вартості двигуна на момент проведення планово - запобіжного ремонту. При проведенні планово - запобіжного ремонту дуже часто доводиться проводити попутну заміну деталей, що мають достатній ресурс. Як правило, передчасна заміна деталей, придатних для подальшої експлуатації, веде до недовикористання їх ресурсу. У математичній моделі Ф.Н. Авдонькіна, ці моменти також не знайшли відповідного відображення.

Підтримка працездатності автомобіля за рахунок проведення одних тільки планово - запобіжних ремонтів, пропонують В. Аверкін і ін. [1]. Вони, за критерій оптимальності пропонують прийняти мінімум питомих витрат.

Причому, ставлення суми витрат пов'язаних з придбанням автомобіля, проведенням капітальних ремонтних і експлуатаційних витрат до виконаної транспортної роботи, за весь його термін служби, має бути мінімальним. Мінімальні питомі витрати пропонується визначати за такою залежністю:

$$\min_{\tau, \min_{M, \tau_m}} \frac{C + \sum_{m=1}^M \frac{R_m}{(1+E)^t} + \sum_{m=0}^M \sum_{t=1}^{T-\tau_m} \frac{U(t, m)}{(1+E)^{t-\tau_m}} - \frac{L}{(1+E)^T}}{\sum_{m=0}^M \sum_{t=1}^{T-\tau_m} \frac{W(t, m)}{(1+E)^{t-\tau_m}}}, \quad (1.2)$$

де  $C$  - первісна вартість автомобіля, грн.;

$R_m$  - вартість  $m$ -го капітального планово - запобіжного ремонту автомобіля, грн.;

$U_{(t,m)}$  - функція, що описує зміну поточних витрат на підтримку автомобіля в працездатному стані в залежності від терміну служби, що обчислюється з моменту проведення  $m$ -го капітального планово - запобіжного ремонту;

$W_{(t,m)}$  - функція, що описує зміну продуктивності автомобіля в залежності від терміну служби, що обчислюється з моменту проведення  $m$ -го капітального планово - запобіжного ремонту;

$T$  - термін служби автомобіля, років;

$m$  - рік, в якому слід проводити капітальний планово - запобіжний ремонт автомобіля;

$M$  - кількість капітальних планово - запобіжних ремонтів автомобіля;

$m = 0$  - відповідає моменту придбання нового автомобіля.

Практика показала нераціональність відновлення працездатності автомобіля за рахунок проведення одних тільки капітальних планово - запобіжних ремонтів, оскільки це сприяє значному збільшенню витрат на планово - запобіжний ремонт. У даній математичної моделі немає обмеження кількості проведених капітальних планово - запобіжних ремонтів, що також є суттєвим її недоліком.

Розглянуту задачу, А.С. Гальперін в роботі [7], сформулював в рамках стохастичної моделі, в якій вводяться ймовірнісні методи переходу об'єкта виробництва з одного стану в інший, як функції її віку, та інших факторів. Поставлена задача реалізована на тракторній шині, що складається з каркаса і протектора. У певному сенсі, дана модель представляє певний інтерес, проте її рішення утруднене при збільшенні кількості елементів, що входять в машину.

Завдання побудови оптимальної системи планово - запобіжного ремонту, з використанням інформації про витрати, вирішував у своїй роботі Р.Н. Колегаєв [13]. Він розглядав модель, в якій об'єкт дослідження протягом терміну служби піддавався декільком плановим ремонтним обслуговуванням, а потім визначався оптимальний термін служби машини і оптимальні міжремонтні періоди, тобто періоди між капітальними планово - запобіжними обслуговуваннями, кількість яких могла бути необмеженою.

Цільова функція, при цьому, мала такий вигляд [13]:

$$Z_{A_n} = \frac{S_n - O_n + \sum_{i=1}^n E_i + \sum_{i=2}^{n-1} R_i}{\sum_{i=1}^n l_i}, \quad (1.3)$$

де  $Z_{A_n}$  - питомі витрати протягом всього терміну служби машини, грн./км;

$S_n$  - вартість нової машини, грн.;

$O_n$  - ліквідаційна вартість машини в  $n$ -ому ремонтному циклі при даному терміні служби, грн.;

$E_i$  - експлуатаційні витрати в  $i$ -му ремонтному циклі, грн.;

$R_i$  - витрати на  $i$ -ий планово - запобіжний ремонт, грн.;

$l_i$  - величина пробігу  $i$ -го ремонтного циклу, км;

$n$  - кількість ремонтних циклів.

Повний термін служби машини, за цією системою, складається з суми всіх ремонтних циклів, тобто:

$$\sum_{i=1}^n l_i = L, \text{ км}, \quad (1.4)$$

де  $L$  - повний термін служби машини, км.

Рішення поставленого завдання виконується шляхом перебору кількості циклів експлуатації від 1 до  $n$ , прирівнюючи частинні похідні по  $l_1, l_2, \dots, l_i, \dots, l_n$  нулю і вирішуючи спільно систему рівнянь:

$$\frac{dz_{A1}}{dl_1} = 0, \frac{dz_{A2}}{dl_2} = 0, \dots, \frac{dz_{Ai}}{dl_i} = 0, \dots, \frac{dz_{An}}{dl_n} = 0, \quad (1.5)$$

Визначивши  $n$  невідомих  $l_1, l_2, \dots, l_i, \dots, l_{n-1}, l_n$ , які підставляються в (1.3), визначаються значення  $Z_{Ai}$ . Потім значення  $Z_{A1}, Z_{A2}, \dots, Z_{An}$  порівнюються між собою і вибирається  $Z_{Amin}$ . Кількість циклів експлуатації, відповідно  $Z_{Amin}$  визначить оптимальні міжремонтні терміни  $l_1^*, l_2^*, \dots, l_i^*, \dots, l_n^*$  (і повний термін служби машини  $L$  відповідно до (1.4)).

У формулу 1.3 витрати на планово - запобіжний ремонт входять особливої статтею в собівартість одиниці продукції, тому функція витрат є переривчастою, з розривами в моменти проведення планово - запобіжного ремонту.

Автором даної системи виведена формула для випадку, коли зміна питомих експлуатаційних витрат підпорядковується наступній залежності:

$$\frac{E_i(l)}{l_i} = a_i + b_i \cdot l_i, \text{ грн / км}, \quad (1.6)$$

де  $a_i$  - постійна величина питомих витрат на експлуатацію, яка не залежить від величини циклу, грн./км;

$b_i$  - інтенсивність наростання витрат зі збільшенням номера циклу.

Оскільки  $E(l)$  перервна, то можна вважати, що окремі її відрізки, при малій кривизні, досить близькі до відрізків прямих. За даною методикою планується проведення тільки планово - запобіжних ремонтів. Однак, машина,

в ремонтному циклі, проходить і інші види планово - запобіжних ремонтів (через свої міжремонтні цикли), від величини яких в значній мірі залежить величина витрат на ремонт. Недоліком даної моделі оптимізації є те, що при введенні нелінійних залежностей, методи класичного аналізу не придатні.

На автомобільному транспорті, найбільшого поширення знайшло застосування техніко-економічних та економіко-імовірнісних методів визначення оптимальної періодичності планово - запобіжних ремонтів.

Сутність економіко-імовірнісного методу визначення періодичностей планово - запобіжних ремонтів, запропонованого Е.С. Кузнєцовим [16], полягає в тому, що математична модель питомих витрат будується з урахуванням співвідношення питомих вартостей виконання планово - запобіжних і поточного ремонтів.

Для пошуку оптимальної періодичності планово - запобіжних ремонтів, їм запропонована наступна математична залежність [15]:

$$l_p \cdot \varphi(l_p) - g + \frac{\varphi(l_p)}{P} \cdot \int_{l_{\min}}^{l_p} l \cdot \varphi(l) dl = \frac{d}{c-d}, \text{ км} \quad (1.7)$$

де  $l_p$  - шукана періодичність планово - запобіжного ремонту, км;

$d$  - витрати на один планово - запобіжний ремонт при організації примусового планово - запобіжного ремонту з періодичністю  $l_p$ , грн.;

$c$  - витрати, пов'язані з планово - запобіжним ремонтом за потребою, грн.

Однак необхідно відзначити, що рішення даного рівняння важке, оскільки по запропонованому методу відшукується періодичність  $l_p$ , в припущенні, що  $d$  відоме. Насправді, витрати  $d$  не можуть бути відомі, оскільки вони залежать від ( $l_{cp}$ ).

Фундаментальні дослідження, з проблеми планово - запобіжного ремонту об'єктів виробництва досить детально висвітлені в працях: А.П. Крившіна [15] - для дорожніх і будівельних машин; А.І. Селіванова [22], - для тракторів і сільськогосподарських машин; Ф.Н. Авдонькіна [1], І.Є. Дюміна [10, 11], Е.С. Кузнєцова [16] - для автомобілів. У цих працях вказується на доцільність

вдосконалення організації планово - запобіжного ремонту об'єктів виробництва, методом заміни зношених елементів.

Значну увагу питанням оптимізації систем планово - запобіжного ремонту об'єктів виробництва, в даний час приділяється і за кордоном [29].

Система планово - запобіжного ремонту, запропонована в [29], являє собою довільну кількість рівних за вартістю планових ремонтних робіт через рівні проміжки часу. Недоліки такої системи планово - запобіжного ремонту нам уже відомі.

Застосування методів класичного аналізу, внаслідок їх обмеженості, спонукало багатьох дослідників застосовувати новітні методи аналізу, до яких відноситься і метод динамічного програмування.

Р. Беллмана і С. Дрейфус [2], розглядаючи експлуатацію машини протягом певного проміжку часу  $\tau$ , шукають послідовність термінів її заміни або продажу з тим, щоб значно збільшити її дохід. При цьому передбачається проведення планово - запобіжних ремонтів. Причому, по даній версії передбачається, що планово - запобіжні ремонти будуть проводитися неодноразово протягом усього терміну служби машини, через рівні проміжки часу.

За даною методикою, зношені елементи замінюються в моменти  $\tau = \tau_1, \tau_2, \dots, \tau_n$ . Знаходження оптимального процесу для об'єктів виробництва методами класичного аналізу, забезпечується за рахунок застосування  $n$  приватних похідних від  $f(\tau, t)$ , з подальшим вирішенням системи з  $n$  рівнянь. З метою спрощення вирішення поставленого завдання, застосовується метод динамічного програмування, що дозволяє замінити цю процедуру, рішенням одновимірних задач.

Модель, запропонована Р. Беллманом, носить чисто теоретичний характер і мало узгоджується з практикою. У даній моделі, дійсно передбачаються планово - запобіжні ремонти машин, які можуть неодноразово здійснюватися через рівні проміжки часу протягом заданого терміну служби. Вид планово - запобіжного ремонту і його вартість не обумовлені, а сталість періодичності та вартості планово - запобіжного ремонту в часі неможливі.

Розглянуті вище моделі передбачають деяку кількість планово - запобіжних ремонтів через рівні проміжки часу, і не ставлять під сумнів, що міжремонтні періоди повинні бути обов'язково рівновеликими. Автори роблять основний акцент на формальний аспект завдання, а не на економічний. У роботах закордонних авторів, постановка задачі зводиться в основному до визначення найвигіднішого моменту продажу об'єкта виробництва, що не завжди узгоджується з етичного боку.

Організаційні форми планово - запобіжного ремонту рухомого складу автомобільного транспорту в країнах Західної Європи дуже різноманітні і мають багато особливостей стосовно до своїх країн, регіонів і т. д. Незважаючи на таке розмаїття, ремонтні підприємства утворюють досить гнучку ремонтну мережу з розвинуеною спеціалізацією і широким використанням сучасних прогресивних і ефективних принципів планово - запобіжного ремонту [31].

У зв'язку з цим, вельми важливою обставиною є прагнення створення таких конструкцій машин, застосовувати такі технологічні процеси при виготовленні і здійснювати такі організаційно-технічні заходи в експлуатації, при яких витрати і час перебування машини в планово - запобіжному ремонті, були б раціональними чи не перевищували прийнятних значень.

Відомо, що ускладнення конструкцій сучасних машин призводить до додаткових витрат на підтримку їх надійності на певному рівні.

При прийнятті належних заходів щодо зниження витрат на планово - запобіжний ремонт, можна певною мірою зменшити розрив витрат, що йдуть на виробництво машин і витрат на їх підтримку в працездатному стані. До числа таких заходів слід віднести:

- створення конструкцій машин краще пристосованих до проведення планово - запобіжних ремонтів і вимагають мінімум витрат при їх експлуатації;
- вдосконалення системи планово - запобіжного ремонту з метою найкращого використання досягнутого рівня ремонтпридатності машин.

Особливості конструкції двигуна кар'єрного транспорту, специфіка його умов експлуатації, а також значна вартість окремих деталей і вузлів, вимагає

додаткового дослідження питань подальшого вдосконалення організації їх планово - запобіжного ремонту.

### 1.3 Основні напрямки вдосконалення організації планово - запобіжного ремонту двигунів транспорту

Техніко-економічний аналіз основних напрямків розвитку планово - запобіжного ремонту рухомого складу автомобільного транспорту, і його агрегатів, як показали проведені дослідження, на даному етапі науково-технічного розвитку, одним з найбільш перспективних напрямків, є проведення планово - запобіжних ремонтів методом заміни зношених елементів з організацією централізованого їх відновлення індустріальними методами. Такий підхід не суперечить і не перешкоджає розвитку інших прогресивних методів, а саме, вдосконалення організації і технології капітального планово - запобіжного ремонту автомобілів та їх агрегатів.

Проведений аналіз організації планово - запобіжного ремонту автомобільної техніки дозволяє зробити наступні висновки, що стосуються двигунів кар'єрного транспорту.

1. Існуюча, в даний час, практика проведення планово - запобіжного ремонту двигунів кар'єрних автомобілів в міру відмови їх конструктивних елементів призводить до частих постановок на планово - запобіжний ремонт. Причому, кожний планово - запобіжний ремонт супроводжується простоями і збитками. Зниження тривалості простоїв і втрат вимагає пошуку резервів, в основі яких лежить вдосконалення організації планово - запобіжного ремонту. Оптимальна організаційна структура і періодичність проведення планово - запобіжного ремонту сприятиме не тільки змінам показників ремонтпридатності, а й підвищенню ефективності планово - запобіжного ремонту двигунів кар'єрних автомобілів.

2. Проблемою вдосконалення планово - запобіжного ремонту автомобільної техніки займалися як вітчизняні, так і зарубіжні дослідники.



Отримана цінна інформація, яка знайшла практичне застосування в галузях економіки країни. Проте, питання, пов'язані з вибором оптимального варіанта структури планово - запобіжного ремонту стосовно до двигунів кар'єрного транспорту, що працює в специфічних умовах, до теперішнього часу не знайшли свого вирішення. Однак, форми організації планово - запобіжного ремонту, які досить добре зарекомендували себе для агрегатів автомобілів масового виробництва, для двигунів кар'єрного транспорту вимагають додаткових досліджень.

3. Незважаючи на високу ефективність планово - запобіжного ремонту двигунів методом заміни зношених елементів, широкого впровадження він поки не отримав.

На підставі вищевикладеного, можна сформулювати наступну мету досліджень, а саме, підвищити ефективність планово - запобіжного ремонту двигунів кар'єрного транспорту за рахунок вдосконалення структури ремонтного циклу.

#### 1.4 Аналіз діяльності товариства з обмеженою відповідальністю "Гніванський гранітний кар'єр"

##### 1.4.1 Загальна характеристика підприємства

Товариство з обмеженою відповідальністю "Гніванський гранітний кар'єр" (надалі ТОВ) розташоване в місті Гнівань по вул. Леніна, 85.

Вид економічної діяльності – видобування і переробка каменю.

ТОВ має в своєму складі такі основні виробничі структурні підрозділи:

- гірничий цех (займається видобутком граніту);
- дільниця буровибухових робіт (проводить буріння свердловин, здійснення вибухів, розбирання негабаритних кам'яних брил);
- дробильно-сортувальний завод (переробляє гірничу масу на продукцію різних фракцій);

- транспортний цех (здійснює навантаження готової продукції на різні види транспорту);
- центральна робоча майстерня (ремонтую агрегати і вузли, виготовляє деталі для забезпечення технологічного виробничого процесу);
- ремонтно-будівельний цех (виконує роботи, пов'язані з благоустроєм території підприємства і будівництвом);
- електроцех (здійснює безперебійне постачання електроенергії для роботи підприємства і ремонт силового електрообладнання).

Є на підприємстві і допоміжне виробництво:

- цех по виготовленню виробів з граніту;
- цех по виготовленню електродів;
- цех по виготовленню тротуарної плитки;
- цех по виготовленню метало-пластикових вікон.

До виробничої структури ТОВ входить і транспортний підрозділ.

Транспортний підрозділ створено для перевезення гірничої маси, забезпечення виробництва матеріалами і запасними частинами, складовими різних видів, а також для надання послуг з реалізації виготовленої продукції.

Його виробничо-технічна база є матеріальною основою забезпечення працездатності автотранспортних засобів, одним з найважливіших елементів комерційної структури підприємства, головною складовою виробничої інфраструктури, що забезпечує провізні можливості рухомого складу.

Організація перевезень вантажів автомобільним транспортом на підприємстві здійснюється у відповідності до вимог законодавства за [1, 3].

#### 1.4.2 Аналіз складу, структури, стану і показників використання основних виробничих фондів підприємства

Склад і вартість основних виробничих фондів підприємства визначаються на основі „Приміток до річної фінансової звітності за 2020 рік” за формою №5. На основі цих даних формується таблиця 1.1.

Таблиця 1.1 – Основні виробничі фонди

Групи основних засобів	Залишок на початок року		Надійшло за рік	Вибуло за рік		Нараховано амортизації за рік	Залишилось на кінець року	
	Первісна (переоцінена) вартість	знос		Первісна (переоцінена) вартість	знос		Первісна (переоцінена) вартість	знос
1. Будинки, споруди та передавальні пристрої	9137,3	5245,3				181,5	9137,3	5426,8
2. Машини та обладнання	14751,7	8367,2	501,6	6,5	5,1	925,8	15246,8	9287,9
3. Транспортні засоби	1330,9	573,5	1579,4	46,3	26,4	321,1	2864,0	868,2
4. Інші основні засоби	147,2	118,0				6,5	147,2	124,5
5. Малоцінні необоротні матеріальні активи	637,7	637,7	220,0			220,0	857,7	857,7
Разом	26004,8	14941,7	2301,0	52,8	315,5	1654,9	28253,0	16565,1

Аналізуючи дані наведені в таблиці 1.1, можна зробити висновки про структуру основних виробничих фондів: будівлі, споруди та передавальні пристрої становлять 32,34 % від загальної вартості; машини та обладнання – 53,97%, транспортні засоби – 10,14 %; інші основні засоби – 0,52%.

При аналізі стану основних фондів детальніше будуть розглядатися показники, які відносяться до транспортних засобів. За рекомендаціями [6, 8] необхідно визначити їх коефіцієнти відновлення, вибуття і придатності.

Коефіцієнт відновлення відображає інтенсивність відновлення транспортних засобів і визначається за формулою:

$$K_{\text{від}} = \frac{OB\Phi_{\text{в}}}{OB\Phi_{\text{к}}}, \quad (1.8)$$

де  $OB\Phi_{\text{в}}$  – вартість транспортних засобів, що надійшли за рік, грн.;

$OB\Phi_{\text{к}}$  – вартість транспортних засобів на кінець року, грн.

За даними таблиці 1.1 коефіцієнт відновлення становитиме:

$$K_{\text{вїд}} = \frac{1579,4}{2864,0} = 0,551.$$

Коефіцієнт вибуття, який характеризує ступінь вибуття автомобілів:

$$K_{\text{вїб}} = \frac{OB\Phi_{\text{вїб}}}{OB\Phi_n}, \quad (1.9)$$

де  $OB\Phi_{\text{вїб}}$  – вартість транспортних засобів, що вибули за рік, грн.;

$OB\Phi_n$  – вартість транспортних засобів на початок року, грн.

За даними таблиці 1.1 коефіцієнт вибуття становитиме:

$$K_{\text{вїб}} = \frac{46,3}{1330,9} = 0,0348.$$

Коефіцієнт придатності характеризує технічний стан транспортних засобів:

$$K_{\text{прид}} = \frac{OB\Phi_{\text{зал}}}{OB\Phi_{\text{перв}}} = 1 - K_z = 1 - \frac{Z}{OB\Phi_{\text{перв}}}, \quad (1.10)$$

де  $OB\Phi_{\text{зал}}$  – залишкова транспортних засобів, грн.;

$OB\Phi_{\text{перв}}$  – первісна транспортних засобів, грн.;

$K_z$  – коефіцієнт зносу;

$Z$  – знос транспортних засобів, грн.

За даними таблиці 1.1 коефіцієнт придатності становитиме:

$$K_{\text{вїб}} = 1 - \frac{868,2}{1330,9} = 1 - 0,652 = 0,348.$$

Аналізуючи виконані розрахунки, можна зробити наступні висновки:

- транспортні засоби підприємства мають знос 65,2% ;

- придатність транспортних засобів підприємства становить 34,8%;
- інтенсивність відновлення транспортних засобів (55,1%) перевищує інтенсивність вибуття (3,48%).

#### 1.4.3 Аналіз складу, структури і стану рухомого складу

Для перевезення вантажів і забезпечення переліку виконуваних філією робіт, автотранспортний підрозділ має власний рухомий склад, дані про який наведені в табл. 1.2 і 1.3.

Таблиця 1.2 - Наявність автотранспорту на початок 2021 року

Найменування показників	Наявність автомобілів, одиниць	Загальна вантажопідйомність, тонн (з точністю до 0,1), пасажиромісткість, місць для сидіння
Автомобілі: всього	58	-
Вантажні автомобілі, включаючи пікапи і фургони на шасі легкових автомобілів	39	307,8
В тому числі за призначенням та конструкцією кузова:		
бортові	7	28,0
самоскиди	25	181,8
сідельні тягачі	7	98,0
за вантажопідйомністю:		
до 1499 кг	-	-
1500-4999 кг	13	52,0
5000-6999 кг	5	29,2
7000-9999 кг	10	80,6
10000-14999	11	146,0
спеціальні автомобілі	6	-
Пасажирські легкові автомобілі	11	55
Пасажирські автобуси	2	92

Таблиця 1.3 - Вантажні напівпричепи і автомобільні причепа

Конструкція кузова напівпричепи, причепа	Всього, одиниць	Загальна вантажопідйомність, тонн (з точністю до 0,1)	Нові напівпричепи (причепа) які надійшли в звітному році, одиниць
причепа і напівпричепи	7	98,0	-
за конструкцією кузова:			
бортові	5	72,0	-
самоскидні	2	16,0	-

Як видно з таблиці 1.2, частка вантажних автомобілів складає 67,24% від загальної кількості транспортних засобів, частка спеціальних – 10,34%, пасажирських легкових – 18,97%, автобусів – 3,44%.

Структура вантажних автомобілів наступна: бортові автомобілі і сидельні тягачі становлять по 17,95% від загальної кількості рухомого складу, а самоскиди – 64,1%.

В таблиці 1.4 подано віковий розподіл рухомого складу.

Таблиця 1.4 - Групування власних автомобілів залежно від часу перебування в експлуатації

Тип автомобіля (кузова)	Всього	В т.ч., які перебували в експлуатації з моменту випуску заводом-виготовлювачем				
		до 3 років включно	від 3,1 до 5 років включно	від 5,1 до 8 років включно	від 8,1 до 10 років включно	більше 10 років
Автомобілі - всього	58	13	2	-	2	41
в тому числі:						
вантажні	39	7	-	-	-	32
автобуси	2	-	-	-	-	2
легкові автомобілі	11	4	2	-	2	3
Спец. автомобілі	6	2	-	-	-	4

Аналізуючи дані таблиці 1.4 приходимо до висновку, що:

- 70,69% транспортних засобів перебувають в експлуатації більше 10 років;
- по 3,45% експлуатуються від 3,1 до 5 років і від 8,1 до 10 років включно;
- 22,41% перебувають в експлуатації з моменту випуску заводом-виготовлювачем до 3 років включно.

#### 1.4.4 Аналіз виробничо-господарської діяльності підприємства

Метою даного аналізу є визначення основних техніко-експлуатаційних показників роботи рухомого складу транспортного підрозділу.

Результати роботи автотранспорту підприємства за останній період часу, визначені за формами № 2-тр наведені в таблиці 1.5.

Таблиця 1.5 – Робота і використання рухомого складу

Показники	2018	2019	2020
1. Середньооблікова кількість автомобілів, одиниць	54	56	58
2. Автомобіледні перебування в господарстві, тис.	19,710	20,440	21,170
2. Автомобіледні в роботі, тис.	11,140	11,660	11,404
3. Час в наряді, тис. год.	89,680	109,954	113,600
4. Загальний пробіг, тис. км	1811,100	1889,74	2265,86
5. Обсяг перевезень, тис. т	1860,4	1885,9	1932,5
6. Вантажобіг, тис. ткм	6782,0	7218,7	8317,4

Беручи за основу відомості, які містяться в таблиці 1.5, визначаються основні техніко-експлуатаційні показники роботи рухомого складу транспортного підрозділу за попередній період, враховуючи рекомендації [5]. За період приймається календарний рік (2018, 2019, 2020).

Середній час перебування рухомого складу в наряді за добу:

$$T_n^i = \frac{AG_{нар}^i}{AD_{роб}^i}, \quad (1.11)$$

де  $AG_{нар}^i$  – час перебування автомобілів в наряді за  $i$ -тий період, тис. год.;

$$T_n^{18} = \frac{89,68}{11,14} = 8,05 (год); T_n^{19} = \frac{109,954}{11,66} = 9,43 (год); T_n^{20} = \frac{113,6}{11,404} = 9,97 (год).$$

Середньодобовий пробіг одиниці рухомого складу:

$$l_{cd}^i = \frac{L_{заг}^i}{AD_{роб}^i}, \quad (1.12)$$

де  $L_{заг}^i$  – загальний пробіг рухомого складу за  $i$ -тий період, тис. км;

$$l_{co}^{18} = \frac{1811,1}{11,14} = 162,64 (\text{км}); l_{co}^{19} = \frac{1889,74}{11,66} = 162,07 (\text{км}); l_{co}^{20} = \frac{2265,86}{11,404} = 189,69 (\text{км}).$$

Коефіцієнт випуску на протязі періоду, що розглядається для типів рухомого складу становив:

- для легкових автомобілів – 0,731; 0,692; 0,579;
- для вантажних автомобілів – 0,565; 0,571; 0,539.

Для розгляду динаміки зміни обсягів транспортних послуг можна скористатись формулами структурних змін за рекомендаціями [9].

Індекси зміни основних параметрів визначаються за формулою:

$$I_{A_i} = \frac{A'_i}{A_i}, \quad (1.13)$$

де  $A_i$ ,  $A'_i$  - відповідно базисне і звітне значення параметрів.

Для обсягів перевезень:

$$I_{A_i}^{19-18} = \frac{1885,9}{1860,4} = 1,014; I_{A_i}^{20-19} = \frac{1932,5}{1885,9} = 1,025;$$

Для обсягів транспортної роботи:

$$I_{A_i}^{19-18} = \frac{7218,7}{6782,0} = 1,064; I_{A_i}^{20-19} = \frac{8317,1}{7218,7} = 1,15.$$

Аналізуючи виконані розрахунки, можемо прийти до таких висновків:

- час перебування автомобілів в наряді за добу складає 8,05...9,97 години;
- обсяги наданих транспортних послуг в середньому зросли: автомобіледні в роботі – на 7,4%; час в наряді – на 3,32%; обсяги перевезень – на 2,5%; вантажооборот – на 6%; загальний пробіг – на 19%.



## 1.5 Аналіз стану існуючої виробничо-технічної бази товариства з обмеженою відповідальністю «Гніванський гранітний кар'єр»

### 1.5.1 Огляд існуючої структури виробничо-технічної бази

Важливим фактором внутрішнього середовища організації є стан виробничо-технічної бази.

В склад виробничо-технічної бази транспортного підрозділу ТОВ «Гніванський гранітний кар'єр» входять: виробничий корпус, в якому розташовані: шість тупикових постів ТО і ПР, агрегатна і моторна дільниці, зона миття агрегатів, токарна дільниця, електротехнічна, мідницька, ковальсько-ресорна, шиномонтажна, вулканізаційна, акумуляторна, зварювальна, складські і побутові приміщення, зона зберігання легкових автомобілів. Загальна площа виробничого корпусу 2368 м<sup>2</sup>.

На території транспортного підрозділу також знаходяться стоянка рухомого складу (3325 м<sup>2</sup>), склад паливно-мастильних матеріалів (703 м<sup>2</sup>), котельня, площадка для миття автомобілів та очисні споруди.

Роботи по ТО і ПР автомобілів виконуються на тупикових універсальних постах, обладнаних оглядовими канавами.

### 1.5.2 Варіантний аналіз і оцінка стану виробничо-технічної бази і ступеня використання виробничої потужності

Аналіз відповідності стану ВТБ існуючим вимогам проводимо використовуючи метод експрес-діагностування, застосувавши техніко-економічні показники (ТЕПи) за методикою [8].

Техніко-економічні показники використовуються для проектних розрахунків при необхідності нового будівництва і реконструкції функціонуючих підприємств, а також для оцінки, порівняння і вибору

проектних рішень. Для оцінки рівня прогресивності технологічної розробки ВТБ встановлені такі нормативні питомі показники:

- чисельність виробничих робітників, на один автомобіль;
- кількість робочих постів, на один автомобіль;
- площа виробничо-складських приміщень,  $m^2$ , на один автомобіль;
- площа допоміжних (адміністративно-побутових) приміщень,  $m^2$ , на один автомобіль;
- площа стоянки,  $m^2$ , на один автомобіль;
- площа території підприємства,  $m^2$ , на один автомобіль;

Оцінку проводимо методом порівняння фактичних показників з еталонними, попередньо сформувавши технологічно сумісні групи автомобілів і виконавши для кожної з них розрахунки ТЕПів.

У транспортному підрозділі – 58 автомобілів, з них автомобілі: КрАЗ-256Б – 21 одиниця, ГАЗ-САЗ-3507 – 26 одиниць, ВАЗ - 11 одиниць.

Для розрахунку техніко-економічних показників попередньо необхідно вибрати питомі показники для еталонних умов.

Значення вибираються з [8] і заносяться в таблицю 1.6.

Таблиця 1.6 – Інформація до розрахунку нормативних ТЕП для транспортного підрозділу

Показники	Еталонне значення	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	K <sub>4</sub>	K <sub>5</sub>	K <sub>6</sub>	K <sub>7</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Чисельність виробничих робітників, чол. КрАЗ	0,32	1,66	1,12	1,0	1,0	1,0	1,16	0,95
ГАЗ	0,32	1,66	1,12	1,0	1,0	1,0	1,16	0,95
ВАЗ	0,22	1,24	1,0	1,0	1,0	1,0	1,08	0,95
Кількість робочих постів КрАЗ	0,1	2,3	1,08	1,0	1,0	1,0	1,15	0,97
ГАЗ	0,1	2,3	1,08	1,0	1,0	1,0	1,15	0,97
ВАЗ	0,08	2,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,15	0,97
Площа виробничо-складських приміщень, $m^2$ КрАЗ	19,0	2,05	1,0	1,0	1,0	1,0	1,15	0,82

Продовження таблиці 1.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9
ГАЗ	19,0	2,05	0,6	1,0	1,0	1,0	1,15	0,82
ВАЗ	8,5	1,9	0,56	1,0	1,0	1,0	1,15	0,82
Площа допоміжних приміщень, м <sup>2</sup> КрАЗ	8,7	1,85	1,0	1,0	1,0	1,0	1,08	0,98
ГАЗ	8,7	1,85	0,88	1,0	1,0	1,0	1,08	0,98
ВАЗ	5,6	1,8	0,85	1,0	1,0	1,0	1,08	0,98
Площа стоянки, м <sup>2</sup> КрАЗ	37,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,32	1,0	1,0
ГАЗ	37,2	1,0	0,85	1,0	1,0	1,32	1,0	1,0
ВАЗ	18,5	1,0	0,8	1,0	1,0	1,32	1,0	1,0
Площа території підприємства, м <sup>2</sup> КрАЗ	120	1,9	1,0	1,0	1,0	1,16	1,07	0,93
ГАЗ	120	1,9	0,76	1,0	1,0	1,16	1,07	0,93
ВАЗ	65,0	1,9	0,76	1,0	1,0	1,16	1,07	0,93

Розраховані за наведеною вище методикою питомі ТЕПи усереднюються по всьому транспортному підрозділу і значення їх заносяться в таблицю 1.7.

Таблиця 1.7 - Порівняння нормативних і фактичних значень ТЕП

Назва показника	Одиниці вимірювання	Фактичні	Нормативні
1. Число виробничих робітників	Чол.	0,293	0,302
2. Кількість робочих постів	Од.	0,103	0,14
3. Площа виробничо-складських приміщень	м <sup>2</sup>	51,03	43,3
4. Площа допоміжних приміщень	м <sup>2</sup>	7,03	8,15
5. Площа стоянки	м <sup>2</sup>	64,78	45,54
6. Площа території	м <sup>2</sup>	416,2	206,21

Результати аналізу:

а) чисельність виробничих робітників незначно менше нормативного значення, обумовлено низьким рівнем заробітної плати;

б) число постів зони ТО і ПР менше нормативних показників, що говорить про низький рівень механізації технологічних процесів;

в) площі приміщень перевищують нормативні значення на 15%;

г) площі допоміжних приміщень менші нормативних значень на 13,7%;

д) площі стоянки автомобілів і території перевищують нормативні значення приблизно на 30%, що пов'язано зі специфікою підприємства.

## 1.6 Висновки до першого розділу

1. Удосконалення ефективності планово - запобіжного ремонту двигунів вимагає вивчення не тільки умов їх експлуатації, а й характеристики діючих методів організації планово - запобіжного ремонту на підприємствах.

2. Проведений аналіз робіт з питання вдосконалення організації планово - запобіжного ремонту автомобільної техніки дозволяє знайти по кожній стратегії позитивні і негативні сторони, і на підставі отриманої інформації запропонувати їх доопрацювання.

3. На підставі отриманої інформації необхідно запропонувати оптимальну стратегію планово - запобіжного ремонту і вказати основні напрямки її вдосконалення для двигунів кар'єрного автомобільного транспорту.

4. Проаналізувавши стан виробництва ТО і ремонту автомобілів ТОВ «Гніванський гранітний кар'єр», можна зробити такі висновки:

- чисельність виробничих робітників менше нормативного значення, що пов'язано з плінністю кадрів, обумовлених низьким рівнем заробітної плати;

- число постів зони ТО і ПР автотранспортного підрозділу менше нормативних показників, що говорить про низький рівень механізації і автоматизації технологічних процесів виробництва;

- виробничих площ достатньо для забезпечення нормального технічного обслуговування і ремонту рухомого складу.

## РОЗДІЛ 2 ОСНОВИ ФОРМУВАННЯ І ВИБОРУ ОПТИМАЛЬНОЇ СТРУКТУРИ ТА ПЕРІОДИЧНОСТІ ЗАМІН ЗНОШЕНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ДВИГУНІВ АВТОМОБІЛІВ

Відновлення працездатності двигунів кар'єрного транспорту шляхом заміни зношених елементів є в даний час одним з найбільш перспективних методів. Для ефективного застосування цього методу, необхідні розробки науково-методичних і організаційно-технічних питань з урахуванням особливостей їх конструкцій та умов експлуатації.

Тому, з усього різноманіття питань організації планово - запобіжного ремонту необхідно визначити оптимальну структуру і періодичність заміни зношених елементів. А це вже дуже складний науково-технічний і техніко-економічний процес вирішення поставленого завдання.

Особливістю техніко-економічних завдань, до яких відноситься і задача побудови оптимальної структури та періодичності планово - запобіжного ремонту двигунів кар'єрного транспорту, є пошук оптимального рішення.

Заміну зношених елементів двигуна, з точки зору організації виконання планово - запобіжного ремонту, можна проводити як у міру відмови кожного окремого елемента, так і шляхом одночасної заміни певних груп елементів.

Як показує практика заміна окремих елементів двигуна по їх відмові, економічно не виправдана, оскільки це призводить до частих розборок, тривалих простоїв в ремонті, і, як наслідок, до зростання втрат і витрат на їх проведення.

При одночасній заміні певних груп елементів двигуна, до капітального планово - запобіжного ремонту, виникає наступна ситуація. З одного боку - зменшується трудомісткість і тривалість планово - запобіжного ремонту, а також знижуються втрати, пов'язані з припрацюванням елементів двигуна.

З іншого боку, одночасна заміна груп елементів різної довговічності сприяє появі втрат, пов'язаних з недовикористанням ресурсу передчасно замінних

елементів. Оптимальною буде вважатися така система, при якій забезпечується мінімум витрат і втрат на одночасну заміну груп елементів двигуна.

При визначенні оптимального варіанту відновлення працездатності двигуна необхідно синтезувати інформацію про значення функцій витрат і доходу, а також інформацію про ресурс його елементів.

Розглянуті методи оптимізації, як зазначено в розділі I, мають ряд суттєвих недоліків. Тому їх використання, стосовно до двигунів кар'єрного транспорту, вимагає додаткових досліджень. У даній роботі необхідно зробити обґрунтування застосування такого методу оптимізації, при якому б в рівній мірі використовувався формальний і евристичний підходи до вирішення поставленої проблеми і був доступним для практичної побудови оптимальної структури планово - запобіжного ремонту двигунів кар'єрного транспорту з урахуванням конструктивних особливостей і специфіки їх умов експлуатації.

## 2.1 Математична постановка задачі формування оптимальної структури та періодичності замін зношених елементів двигунів автомобілів

Вибір оптимальної структури та періодичності ремонтних впливів по відновленню працездатності двигунів автомобілів, і їх впровадження в практику, являють собою не тільки складну науково-технічну проблему, але і не менш складну техніко-економічну задачу. Рішення поставлених проблем і завдань має проводитися з урахуванням економічних витрат і полягати у визначенні функції багатьох взаємопов'язаних змінних, що змінюються в часі. Вирішити це завдання, на належному науковому рівні, дозволить застосування економіко-математичного моделювання та обчислювальної техніки [8].

Особливістю рішення техніко-економічних завдань надійності, до яких відноситься і задача побудови оптимальної системи планово - запобіжного ремонту двигунів, є їх екстремальний характер. Для кожного розглянутого випадку, це дозволить, в деякому сенсі, знайти оптимальне, або близьке до нього рішення. Оскільки ми маємо справу з розподілом обмежених ресурсів,

для цих цілей, у всіх розглянутих випадках можна використовувати математичні методи знаходження оптимальних рішень [5].

Розглянемо постановку задачі формування оптимальних заміन зношених елементів двигунів, які зводяться до побудови математичної моделі досліджуваної проблеми, тобто необхідно виділити найбільш значущі чинники, і встановити закономірності яким вони підкоряються.

Заміна елементів, які при зносі (відмову) можуть виконуватися без розбирання машини, як правило, здійснюється в міру виходу їх з ладу при виконанні планово - запобіжного ремонту [21]. У автомобільних двигунів, до них слід віднести: свічки запалювання, приводні ремені водяного насоса, вентилятора, генератора, разові паливні фільтри та ін. Такі заміни, в даній роботі не розглядаються, оскільки їх відмови за своєю природою, випадкові і заміна проводиться в випадкові моменти часу.

Заміна елементів пов'язана з розбиранням двигуна, у міру їх відмови економічно недоцільна. Як правило, це веде до частих розборок двигуна, тривалих простоїв, і в зв'язку з цим, до зростання втрат і витрат пов'язаних з планово - запобіжним ремонтом. Замість потрібних по відмовах заміни, передбачається ввести ряд регламентованих, в основі яких лежить поєднання заміни декількох, найменш довговічних по ресурсу елементів.

Впровадження регламентованих заміни, з одного боку зменшить час на заміну елементів, оскільки заміна буде здійснюватися групою елементів або складальними одиницями. При цьому можна знизити втрати на припрацювання елементів, так як буде виключена ця необхідність в міру заміни кожного елементу окремо після відпрацювання ним його ресурсу. З іншого боку, одночасна заміна кількох елементів різної довговічності призведе до появи втрат від недовикористання ресурсів елементів, які є наслідком недовикористання споживчої вартості елементів. А це, в свою чергу, призведе до недоотримання доходу принесеного машиною.

Будучи діалектичним, ця суперечність може служити основою для створення оптимальної системи заміни зношених елементів.

Отримана інформація, дозволить зробити певні висновки про те, що оптимальна система замін буде отримана з умови досягнення мінімуму витрат на заміну елементів, на припрацювання і втрат внаслідок простоїв і недовикористання ресурсів замінних елементів.

До витрат на відновлення працездатності двигунів кар'єрного транспорту слід віднести: постійні витрати (витрати на амортизацію і експлуатацію будівель і споруд) та змінні (витрати, пов'язані з проведенням ремонтних обслуговувань). З причини незначної зміни капітальних витрат ремонтної бази, на якій передбачається здійснювати відновлення двигуна, витрати на амортизацію і експлуатацію будівель і споруд в цільовій функції розглядатися не будуть.

Математичний опис екстремальних задач передбачає побудову такої цільової функції змінних, у якій числова характеристика більшого (або меншого) значенням, відповідає найкращим результатами з точки зору прийнятого рішення.

Цільова функція, визначення оптимальної системи замін зношених елементів об'єкта виробництва, з урахуванням всіх замін (N) до капітального планово - запобіжного ремонту, може бути представлена в наступному вигляді:

$$S_N = f(d_{li}, Z_{li}, g_{li}, G_{li}), \quad (2.1)$$

де  $S_N$  - сумарні витрати цільової функції, грн.;

$d_{li}$ ,  $g_{li}$ ,  $G_{li}$  - втрати, відповідно, від простоїв, недовикористання ресурсу, додаткового розбирання-складання і припрацювання при одночасній заміні груп елементів, грн.;

$Z_{li}$  - витрати на оплату праці ремонтних робітників при заміні зношених елементів, грн.;

$l_i$  - пробіг, на якому проводиться одночасна заміна елементів, тис. км;

$i$  - кількість одночасно замінних елементів, шт.



Система замін зношених елементів буде оптимальною при досягненні наступної умови:

$$\begin{aligned} S_N^* &= \min S_N, \\ u_i &\in u, \\ x_j &\in x, N > 0 \end{aligned} \quad (2.2)$$

де  $S_N^*$  - сумарні витрати цільової функції, при розгляді стратегії замін елементів, грн.;

$x_j$  - значення ресурсу  $j$ -го елемента, км;

$u_j$  - значення ресурсу  $j$ -го елемента при груповий заміні, км.

Характер зміни складових, що входять в цільову функцію оптимізації планово - запобіжного ремонту двигунів автомобілів, наведено нижче.

1. Втрати прибутку від простоїв двигуна, при знаходженні його в планово - запобіжному ремонті, визначаються за формулою [11]:

$$d = \alpha_1 \cdot T_p, \quad (2.3)$$

де  $\alpha_1$  - прибуток, принесений автомобілем в одиницю часу, грн. / год;

$T_p$  - тривалість простоїв двигуна в планово - запобіжному ремонті, з урахуванням часу доставки до місця проведення ремонту, год.

2. Втрати від недовикористання ресурсу передчасно замінних елементів двигуна,

$$g = \sum_{i=1}^N \left[ \sum_{j=1}^{n_i-1} C_j \cdot \frac{X_j - U_i}{X_j} + \xi \right] \sum_{j=1}^{n_j-1} C_j (X_j - U_i), \quad (2.4)$$

де  $C_j$  - первісна вартість  $j$ -го елемента, грн.;

$X_j$  - нормативний ресурс  $j$ -го елемента, км;

$U_i$  - ресурс  $i$ -ї групи елементів до заміни, км;

$\xi$  - коефіцієнт, що враховує втрати доходу від недовикористання ресурсу передчасно замінних елементів;

$n$  - кількість передчасно замінних елементів  $j$ -ї групи;

$N$  - кількість груп одночасних замін.

3. Втрати доходу, від проведення додаткової кількості розборок-збірок і приробіток для групи одночасно замінних елементів, визначаються за формулою [11]:

$$G = \frac{0,2 \cdot D}{C} \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^{n_j} \max C_j, \quad (2.5)$$

де  $C$  - вартість двигуна, грн.;

$D$  - дохід підприємства, принесений автомобілем, грн.

Для визначення оптимального варіанту відновлення працездатності двигуна, розглянемо вплив експлуатаційних факторів на характер зміни показників ремонтпридатності і визначимо шляхи їх поліпшення.

## 2.2 Характер зміни складових, що входять в цільову функцію оптимізації планово - запобіжного ремонту двигунів

Залежно від результатів групування елементів, для одночасної їх заміни, будуть змінюватися наступні складові цільової функції:

- втрати внаслідок простою в планово - запобіжному ремонті;
- витрати на заміну зношених елементів об'єкта виробництва;
- втрати внаслідок недовикористання ресурсу елементів;
- втрати внаслідок додаткової кількості розбирань - складань і припрацювання.

З метою визначення  $S^*$  в явному вигляді, розглянемо окремо кожен складову цільової функції, для чого проаналізуємо економічні чинники (змінні), що входять в цільову функцію  $S_N$ .

2.2.1. Характер зміни питомих втрат доходу при знаходженні двигуна в планово - запобіжному ремонті

Слід зазначити, що простий двигуна, при знаходженні його в планово - запобіжному ремонті, розглядається як час, необхідний для заміни зношених елементів. Протягом цього часу автомобіль не бере участь у виробничому процесі і підприємство несе втрати.

При визначенні втрат від простоїв, в основі методики [14] лежить зіставлення балансу доходів і витрат при роботі автомобіля, і при його простої.

Автомобіль, що знаходиться в будь-якому вигляді простою, доходу не приносить, зате мають місце деякі витрати, до яких слід віднести накладні витрати, плату за основні фонди, амортизаційні відрахування на повне відновлення і зарплату водія, яка нараховується в залежності від характеру виконаної ним роботи.

Баланс витрат автомобіля, з урахуванням зазначених вище доповнень, при знаходженні його простої, прийме такий вигляд:

$$B = D - (z_n + z_a'' + z_0 + z_{zn}^{np}), \text{ грн.} \quad (2.6)$$

де  $B$  - баланс витрат автомобіля, при його перебуванні в простої, грн.;

$D = 0$  - дохід під час простою автомобіля, грн.;

$z_n$  - накладні витрати, грн.;

$z_a''$  - амортизаційні відрахування на повне відновлення, грн.;

$z_0$  - плата за основні фонди, грн.;

$z_{зп}^{np}$  - зарплата водія при простої автомобіля, яка нараховується в залежності від тривалості простою і ступеня залучення водія до роботи (робота на іншому автомобілі, залучення до ремонту і ін.).

Тільки при роботі автомобіля, коли з'являються несправності і знос, мають місце витрати на планово - запобіжний ремонт. Ці витрати при простої, прийняті рівними нулю, так як елементи автомобіля не зношуються, а старіння в розрахунок не береться.

Таким чином, величину втрат від простоїв отримують шляхом вирахування з балансу доходів і витрат при роботі автомобіля, аналогічний баланс, при його простої, за формулою:

$$d = D - z_m - z_c - z_{ш} - z_{то} - z'_a - S_{зп} + S_{зп}^{np}, \text{ грн.} \quad (2.7)$$

де  $d$  - величина втрат автомобіля при простої, грн.;

$z_m$  - витрати на паливо, грн.;

$z_c$  - витрати на мастило, грн.;

$z_{ш}$  - витрати на шини, грн.;

$z_{то}$  - витрати на ТО і позаплановий ремонт, грн.;

$z'_a$  - амортизаційні відрахування на капітальний ремонт, грн.;

$S_{зп}$  - заробітна плата водія, грн.

Втрати від простою автомобіля, при різних варіантах заміни зношених елементів (за ознакою їх групування), дорівнюватимуть:

- при роздільній умовній заміні групи  $l_i$  елементів:

$$d_{l_i} = a_1 \cdot \sum_{j=1}^{l_i} \tau_j, \text{ грн.}; \quad (2.8)$$

де  $d_{li}$  - втрати від простою автомобіля при роздільній заміні групи  $l_i$  елементів, грн.;

$a_1$ -величина втрат прибутку в одиницю часу, грн. / год.

- при можливому сполученні окремих груп елементів для одночасної їх заміни:

$$d_N'' = a_1 \cdot \prod_{i=1}^N \prod_{j=1}^{l_i} \tau_j, \text{ грн.} \quad (2.9)$$

де  $d_N''$ - втрати від простою автомобіля при поєднанні груп елементів для одночасної їх заміни, грн.;

$\Pi$  - похідна величин.

Слід зазначити, що питома величина часу, необхідного для заміни одного елемента, зі збільшенням кількості одночасно замінних елементів, зменшується, то і втрати від простоїв в планово-запобіжному ремонті також зменшуються.

Різниця витрат при роздільній заміні окремих елементів по їх ресурсу, і при одночасній заміні груп елементів, є інформацією для оцінки доцільності групування елементів об'єкта виробництва, для одночасної їх заміни.

Різниця у втратах, при роздільній заміні груп елементів (вузлів), визначається наступним виразом:

$$\Delta d_N = d_N - d_N' = a_1 \cdot \left( \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{l_i} \tau_j - \sum_{i=1}^N \prod_{j=1}^{l_i} \tau_j \right), \text{ грн.} \quad (2.10)$$

де  $\Delta d_N$  - різниця втрат доходу, при роздільній заміні груп елементів, грн.;

$d_N$  - втрати доходу від простоїв при роздільній заміні груп елементів, грн.;

$d_N'$  - втрати доходу від простоїв при суміщенні заміни окремих груп елементів, грн.

Ця різниця, при можливому сполученні заміни окремих груп елементів, складе:

$$\Delta d'_N = dN - d''_N = a_1 \cdot \left( \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{l_i} \tau_j - \prod_{i=1}^N \prod_{j=1}^{l_i} \tau_j \right), \text{ грн.} \quad (2.11)$$

Економічна ефективність відновлення працездатності двигуна, методом заміни зношених елементів, буде тим вище, чим буде більша різниця у втратах на роздільну заміну елементів і одночасну заміну груп елементів.

### 2.2.2 Характер зміни питомих витрат на заміну зношених елементів при знаходженні двигуна в планово – запобіжному ремонті

Процедура заміни зношених вузлів і елементів двигунів пов'язана з необхідністю планування витрат на оплату праці ремонтних робітників. Величина цих витрат визначається діючою тарифною ставкою з нарахуваннями, виходячи з почасово-преміальної системи оплати праці.

Позначивши через « $a_2$ » тарифну ставку робітника, з урахуванням розряду робіт і нарахувань, а трудомісткість замін через « $t$ », можна визначити витрати на заробітну плату робітників, зайнятих ремонтом двигунів.

При різних варіантах замін зношених елементів, значення цих витрат, складуть:

- при роздільній заміні елементів умовної групи:

$$Z_{li} = a_2 \cdot \sum_{j=1}^{l_i} t_j. \quad (2.12)$$

де  $Z_{li}$  – заробітна плата робітників при роздільній заміні елементів, грн.;

$a_2$  - тарифна ставка робітника-ремонтника, з урахуванням розряду робіт і нарахувань, грн. / год.

- при можливому сполученні окремих груп елементів для одночасної їх заміни:

$$Z_N'' = a_2 \cdot \prod_{i=1}^N \prod_{j=1}^{l_i} t_j, \text{ грн.}; \quad (2.13)$$

де  $Z_N''$  - заробітна плата робітників при суміщенні замін окремих груп елементів, грн.

Ефективність планово - запобіжного ремонту при якому здійснюється заміна груп елементів, а не кожного елементу окремо по мірі його відмови, покаже різницю у витратах на роздільну заміну елементів і при одночасній заміні груп. Економічна ефективність відновлення працездатності двигуна шляхом заміни зношених елементів, буде тим вище, чим буде більша різниця.

Різниця в заробітній платі робітників-ремонтників, при роздільній заміні груп елементів, складе:

$$\Delta Z_N = Z_N - Z_N' = a_2 \cdot \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{l_i} t_j - \sum_{i=1}^N \prod_{j=1}^{l_i} t_j, \text{ грн.} \quad (2.14)$$

де  $\Delta Z_N$  - різниця в заробітній платі робітників-ремонтників, при роздільній заміні груп елементів, грн.;

$Z_N$  - заробітна плата робітників-ремонтників при роздільній заміні груп елементів, грн.;

$Z_N'$  - заробітна плата робітників ремонтників при суміщенні замін окремих груп елементів, грн.

При можливому поєднанні окремих груп елементів, різниця в заробітній платі робітників-ремонтників, складе:

$$\Delta Z_N' = Z_N - Z_N'' = a_2 \cdot \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{l_i} t_j - \prod_{i=1}^N \prod_{j=1}^{l_i} t_j, \text{ грн.} \quad (2.15)$$

### 2.2.3 Характер зміни втрат внаслідок недовикористання ресурсу елементів двигуна при його перебуванні в планово-запобіжному ремонті

Основним недоліком примусових заміन елементів двигуна є неповне використання їх ресурсу. Тому, для оцінки можливості і доцільності застосування тієї чи іншої системи планово - запобіжного ремонту, необхідно визначити очікувану втрату. У даній роботі використовується стратегія замін елементів двигуна яка полягає в тому, що призначена група елементів  $l_i$ , замінюється примусово при повній реалізації ресурсу одного з елементів групи. Перевага даної стратегії планово - запобіжного ремонту, в порівнянні із стратегією заміни елементів за призначеним ресурсом, незалежно від їх стану, або стану двигуна, полягає в наступному.

Для стратегії замін за призначеним ресурсом, недовикористовується ресурс  $l_i$  елементів замінних одночасно, а для зазначеної вище стратегії, недовикористовуються  $l_{i-1}$  елементи. Це обумовлено тим, що один елемент, з групи одночасної заміни, замінюється при повній реалізації свого ресурсу.

Недовикористання ресурсу кожного елемента двигуна визначиться наступним чином:

$$\Delta x = x_j - U_i; j = \overline{1, l_i}; x_j > U_i \quad (2.16)$$

де  $\Delta x$  - недовикористання ресурсу окремого елемента, км;

$x_j$  - ресурс  $j$ -го елемента, км ( $j = \overline{1, l_i}$ );

$U_i$  - ресурс  $i$ -го елемента, що має мінімальний ресурс, км.

Недовикористання ресурсу всіх елементів двигуна, замінних одночасно, визначиться:

$$\Delta x_i = \sum_{j=1}^{l_i} (x_j - U_i), \text{ км.} \quad (2.17)$$



де  $\Delta x_{ii}$ - недовикористання ресурсу всіх елементів двигуна, км.

Тепер, необхідно встановити величину недовикористання ресурсу елементів двигуна в вартісному вираженні, для цього скористаємося наступними міркуваннями.

Ми знаємо, що кожен елемент має споживчу вартість. Експлуатація елемента двигуна в процесі виробництва передбачає повне його зношення. Відбувається повне перенесення вартості елемента на вартість новостворюваного продукту. Вартість створеного продукту за одиницю часу оцінюється через величину доходу або прибутку підприємства, віднесеної до об'єкта виробництва, а потім до його елемента, через його вартість.

Отже, недовикористання ресурсу елемента двигуна у втратах відобразиться таким чином: через втрату вартості елемента і через втрату доходу, принесеного об'єктом виробництва і віднесеного до вартості елемента.

Втрата вартості елемента, при недовикористанні ресурсу, обчислюється таким чином.

При  $N$  замінах до капітального планово - запобіжного ремонту, втрати вартості елементів, складуть:

$$g_1^N = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{l_i} c_j \cdot \left( \frac{x_j - U_i}{x_j} \right)^{k_1}, \text{ грн.} \quad (2.18)$$

де  $g_1^N$  - втрати вартості елементів при  $N$  замінах, грн.;

$c_j$ - вартість  $j$ -го елемента, грн.;

$\frac{x_j - U_i}{x_j}$ - частка недовикористаного ресурсу  $j$ -го елемента;

$k_1$  - коефіцієнт, який вказує на нелінійний характер залежності (визначається дослідним шляхом).

Оскільки на практиці визначити коефіцієнт  $k_1$  надзвичайно важко, в більшості випадків його приймають рівним одиниці. Тому, отримані залежності

втратах, вартості елементів з недовикористаним ресурсом, апроксимуються лінійними функціями [17].

Тепер, треба визначити величину втрат доходу від недовикористання ресурсу елементів двигуна.

Похідна частки доходу припадає на вартість елемента, як частини двигуна і її величини недовикористаного ресурсу, характеризує величину втрати доходу від недовикористання ресурсу елементів.

Загальна величина втрат доходу, при N замінах до капітального планово-запобіжного ремонту, складе:

$$g_2^N = \frac{D}{L \cdot C} \cdot \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{l_i} c_j \cdot (x_j - U_i) = \xi \cdot \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{l_i} c_j \cdot (x_j - U_i), \text{ грн.} \quad (2.19)$$

де  $g_2^N$  - загальна величина втрат доходу при N замінах до капітального планово-запобіжного ремонту, грн.;

L-величина пробігу двигуна до планово-запобіжного ремонту, км;

C - вартість двигуна, грн.;

$\xi$  - коефіцієнт апроксимування лінійної функції.

Загальна величина втрат, внаслідок недовикористання ресурсу деталей двигуна, для  $g_1^N$  і  $g_2^N$ , визначається наступним чином:

$$g^N = g_1^N + g_2^N = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{l_i} c_j \cdot \left( \frac{x_j - U_i}{x_j} \right) + \xi \cdot \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{l_i} c_j \cdot (x_j - U_i) = \sum_{i=1}^N \left[ \sum_{j=1}^{l_i} c_j \cdot \left( \frac{x_j - U_i}{x_j} \right) + \xi \cdot \sum_{j=1}^{l_i} c_j \cdot (x_j - U_i) \right], \text{ грн.} \quad (2.20)$$

де  $g^N$  - загальна величина втрат, внаслідок недовикористання ресурсу, грн.

Аналіз отриманого аналітичного виразу для визначення економічних втрат, внаслідок недовикористання ресурсу при відновленні працездатності двигуна шляхом заміни зношених елементів показує, що вони ростуть зі збільшенням кількості одночасно замінних елементів.

2.2.4 Характер зміни втрат внаслідок додаткової кількості розбирань-складань і припрацювання при знаходженні двигуна в планово-запобіжному ремонті

Відомо, що в залежності від стратегії заміни зношених елементів, буде змінюватися загальна кількість розбирань - складань двигуна до капітального планово - запобіжного ремонту. Також змінюватимуться і витрати на виконання цих робіт.

Найбільша кількість розбирань - складань для заміни зношених елементів буде при стратегії заміни щодо відмови кожного елементу. Однак, у міру збільшення числа одночасно замінних елементів, число розбирань - складань буде зменшуватися, що неодмінно призведе до скорочення витрат на планово - запобіжний ремонт двигуна.

Практика показує, що кожне розбирання - складання супроводжується подальшим припрацюванням робочих поверхонь сполучень елементів. Така ситуація негативно позначається на терміні служби елементів і двигуна в цілому.

Для визначення ефективності одночасної заміни груп елементів необхідно оцінити втрати у вартісному вираженні від проведення додаткової кількості розбирань – складань і наступних припрацювань, які призводять до зниження ресурсу, і як наслідок, до зменшення доходу при експлуатації двигуна.

За термін служби до капітального планово - запобіжного ремонту двигуна втрата доходу, з урахуванням лінійності, складе:

$$G_N = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{l_i} 0,2 \cdot D \cdot \max_{l_i} \frac{c_j}{c} = \frac{0,2 \cdot D}{C} \cdot \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{l_i} \max_{l_i} C_j, \text{ грн.} \quad (2.21)$$

де  $G_N$  - втрата доходу за термін служби двигуна до капітального планово - запобіжного ремонту, грн.

При роздільному заміні елементів величина втрат, внаслідок припрацювання, визначиться за формулою:

$$G'_N = \frac{0,2 \cdot D}{C} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{l_i} C_j, \text{ грн.} \quad (2.22)$$

де  $G'_N$  - величина втрат, внаслідок припрацювання при роздільній заміні елементів, грн.

Приріст втрат на додаткові розбирання - складання і припрацювання при роздільній заміні елементів, в порівнянні з одночасною заміною груп елементів, складе:

$$\Delta G_N = G'_N - G_N = \frac{0,2 \cdot D}{C} \left[ \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{l_i} C_j - \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{l_i} \max_{l_i} C_j \right], \text{ грн.} \quad (2.23)$$

де  $\Delta G_N$  - приріст втрат на додаткові розбирання - складання і припрацювання при роздільній заміні елементів, в порівнянні з одночасною заміною груп елементів, грн.

Різниця втрат між роздільною і одночасною груповою заміною елементів, показує економічність групових замін.

Значення цільової функції (2.2), з урахуванням отриманих залежностей, виразиться в такий спосіб:

$$S^* = a_1 \cdot \prod_{i=1}^N \prod_{j=1}^{l_i} t_j + a_2 \cdot \prod_{i=1}^N \prod_{j=1}^{l_i} t_j + \left[ \sum_{j=1}^{l_i} C_j \cdot \left( \frac{x_j - U_i}{x_j} \right) + \xi \cdot \sum_{j=1}^{l_i} C_j \cdot (x_j - U_i) \right] + \frac{0,2 \cdot D}{C} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{l_i} (\max_{l_i} C_j) \rightarrow \min S$$

$$U_i \in U$$

$$X_j \in x$$

$$N > 0 \quad (2.24)$$

де  $\xi = \frac{D}{L-C}$  - коефіцієнт апроксимування лінійної функції.

Тепер, зробимо аналіз поведінки складових цільової функції, в залежності від щільності одночасних замін (кількості одночасно замінних елементів).

Ми бачимо, що зменшення загальної кількості планово - запобіжних ремонтів тісно пов'язане зі зміною (збільшенням) кількості одночасно замінних елементів. А це, природно, призведе до зменшення витрат на оплату праці робітникам - ремонтникам ( $Z_N$ ), скорочення часу простоїв в планово - запобіжному ремонті ( $\tau_N$ ), зменшення кількості розбирань - складань, зниження витрат на розбирально - складальні роботи і витрат на припрацювання ( $G_N$ ). Проте, при відновленні працездатності двигунів методом одночасної заміни груп елементів з різною довговічністю, у частині елементів матиме місце недовикористання ресурсу і пов'язані з цим втрати  $g_N$ , що призведе до збільшення витрат на запасні частини.

Ситуація, при якій одні витрати зменшуються, а інші ростуть, будучи при цьому функцією одного і того ж фактора, сприяє знаходженню рішення, яке мінімізує загальні витрати. На рисунку 2.1 показана графічна інтерпретація даного рішення. Крім того, дана ситуація дозволяє побудувати алгоритм оптимізації цільової функції.



Рисунок 2.1 - Характер зміни витрат на заміну, в залежності від кількості одночасно замінних елементів

### 2.3 Вибір стратегії планово – запобіжного ремонту двигуна

При розробці алгоритму оптимізації стратегії планово - запобіжного ремонту двигунів, в основу покладена ідея алгоритму «київський віник», яка полягає у формулюванні правил послідовного звуження безлічі конкурентоздатних варіантів [17]. Багатокроковий процес цього алгоритму дозволяє на кожному кроці «відкидати» деяку безліч варіантів  $\Omega_j$ , про яку в процесі роботи алгоритму, стає відомо, що вона не містить оптимального варіанту.

У порівнянні з алгоритмом, як «київський віник», такі універсальні методи як метод повного перебору, динамічного програмування, випадкового пошуку та ін., є менш раціональними. В основу розробленого алгоритму вибору оптимальної стратегії планово – запобіжного ремонту двигунів, в даній роботі був застосований цей метод.

Тепер необхідно сформулювати завдання вибору оптимальної стратегії планово – запобіжного ремонту двигунів, як задачу оптимального управління.

Припустимо, що  $P(U_i, \Delta) \in R$  є вектор фазових координат. Під цим мається на увазі працездатність, надійність і т. п. двигунів при заданому напрацюванні (пробізі) і після проведення відповідного планово - запобіжного ремонту з безлічі  $\Delta, r(\Delta, U_i) \in R$ . Це буде вектор управління, який полягає у виборі відповідного типу ремонтної бази.

В процес управління введемо деякі початкові і кінцеві умови:

$$\begin{aligned} P^0(U_i, \Delta) &\in E_0 \\ P^T(U_i, \Delta) &\in E_T \end{aligned} \quad (2.25)$$

Стан двигуна в початковий і кінцевий період його експлуатації, при проведенні планово – запобіжного ремонту в різних ремонтних базах, характеризується заданими обмеженнями (2.25).

Отримання оптимальної стратегії буде досягнуто при мінімізації наступної величини:

$$S^* = S[P(U_i, \Delta), r(U_i, \Delta)] \rightarrow \min, \text{ грн.} \quad (2.26)$$

Опишемо оптимізацію цільової функції (2.24), при обмеженнях (2.25), по окремих кроках.

На осі  $\Omega$  відкладаються величини ресурсів вузлів  $U_i$ , на осі ординат  $\Delta k$  - величини витрат на планово - запобіжний ремонт, які відповідають різним типам ремонтних баз. Відстань між точками, в площинах січна вісь абсцис, відповідає значенням загальних витрат.

Виконуються кроки під номером  $i$  по осі  $\Omega$  і визначається тип ремонтної бази  $k$ , якій відповідав би мінімум витрат.

Крок перший. Відшукується база, що забезпечує мінімальні витрати на заміну першого вузла з ресурсом  $U_i$  (див. Рисунок 2.2).

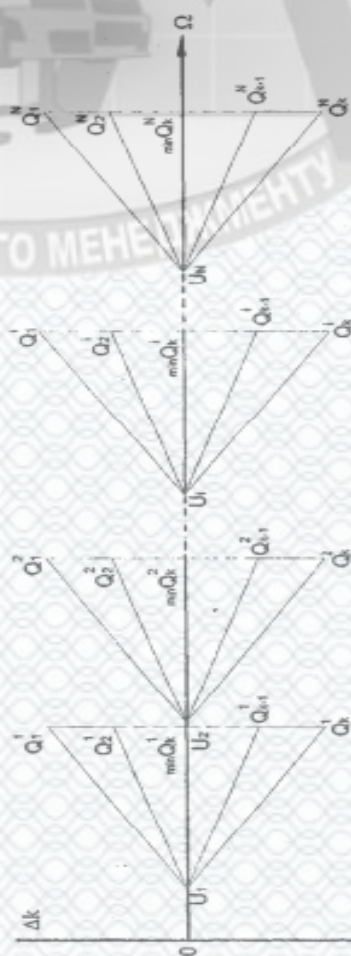


Рисунок 2.2 - Схема алгоритму з урізанням розглянутих варіантів після однієї ітерації

Визначається величина витрат на заміну вузла  $U_i$  по всіх можливих базах, тобто обчислюються значення  $Q_1^1, Q_2^1, \dots, Q_i^1, \dots, Q_{k-1}^1, Q_k^1$ . За значеннями цих витрат, встановлюється база, що забезпечує мінімум витрат -  $\min_{\Delta k} Q_k^1$ .

На осі  $\Delta k$ , точка відповідна  $\min Q_k^1$ , є шуканою і приймається в розрахунок, для визначення оптимальної стратегії заміни зношених елементів. Всі інші варіанти відсіваються. Це обумовлено тим, що функція (2.24) опукла і тому допускається усунення всіх варіантів, що не відносяться до оптимальної траєкторії.

Крок другий. Визначаються витрати по всіх базах для заміни другого вузла з ресурсом  $U_2$ , тобто розраховуються значення  $Q_1^2, Q_2^2, \dots, Q_i^2, \dots, Q_{k-1}^2, Q_k^2$ . Існуванням другої оптимальної точки на осі  $\Delta k$ , є така умова:

$$Q_k^{*2,1} = \min_{\Delta k} \left[ \min_{\Delta k} (Q_k^1 + Q_k^2) \right]. \quad (2.27)$$

де  $Q_k^{*2,1}$  - величина витрат на заміну вузлів, грн.

Введемо відстань між січними віссю  $\Omega$ , площинами  $\Delta k$ . Якщо є ламана, яка не містить  $\min_{\Delta k} Q_k^1, \min_{\Delta k} Q_k^2, \dots, \min_{\Delta k} Q_k^i, \dots, \min_{\Delta k} Q_{k-1}^{N-1}, \min_{\Delta k} Q_k^N$ , то вона не може претендувати на те, щоб вважатися вирішенням завдання. Оскільки ламані утворюють множину  $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_i, \dots, \omega_N$ , які відкидаються на кожному кроці, відбувається звуження конкурентоздатних варіантів.

Відповідно до рекурентного виразу, отримаємо:

$$Q_{ik} = \min_{\Delta k} \left[ \min_{\Delta k} (Q_k^i + Q_k^{i+1}) \right]. \quad (2.28)$$

В результаті чого відбувається «відкидання» конкурентоздатних варіантів на кожному кроці. Переміщення по осі  $\Omega$  триває до виконання умови  $i = N, k = K$ . Отримана оптимальна траєкторія має таку властивість, при якому будь-який її відрізок знову є оптимальною траєкторією.



Оскільки тут значна кількість варіантів не аналізується, даний алгоритм є кращим. З іншого боку, раціональність варіанта може привести до збільшення ймовірності пропуску оптимального варіанту.

У розрахунках доцільно використовувати алгоритм, при якому «відкидання» варіантів відбувається не на кожному кроці по  $U_i$ , а через кілька кроків (див. Рисунок 2.3).



Рисунок 2.3 - Схема алгоритму з урізанням розглянутих варіантів після двох ітерацій

Тоді мінімум величини витрат визначиться відповідно до виразу:

$$\min_{\varphi} \{Q_1^i, Q_2^i, \dots, Q_k^i, \dots, Q_k^2\} \quad (2.29)$$

де  $\varphi$  - кількість ітерацій, після яких відбувається усічення.

Потім аналізуються інші варіанти, яким відповідає мінімум витрат. Усічення цих варіантів відбувається після кількох ітерацій, число яких встановлюється заздалегідь. У загальному вигляді рекурентне співвідношення, за яким здійснюється розрахунок оптимальної стратегії планово - запобіжного ремонту, прийме такий вигляд:

$$Q_{NK}^* = \min_k \sum_{i=1}^N (S_{ik} + Q_k^{i-1}) \quad (2.30)$$

де  $Q_{NK}^*$  - витрати оптимальної стратегії планово - запобіжного ремонту, грн.;  $Q_k^{i-1} = S_{i-1, k} + Q_k^{i-2}$

## 2.4 Формування та вибір оптимальної структури та періодичності заміन зношених елементів двигунів

### 2.4.1 Математичний опис зміни експлуатаційних витрат по розглянутих варіантах структури планово - запобіжного ремонту двигунів

Відомо, що зміни вартості двигуна і експлуатаційних витрат до і після проведення планово - запобіжного ремонту в залежності від пробігу, носять нелінійний характер. Ці залежності можна описати рівняннями регресії виду :

$$Y = A_0 x^0 + A_1 x^1 + A_2 x^2 + \dots + A_n x^n + \dots, \quad (2.31)$$

де  $Y$  - значення функції;

$A$  - коефіцієнти регресії;

$x$  - значення аргументу.

Функція, представлена у вигляді суми східного статичного ряду, дозволяє знайти її значення з будь-яким ступенем точності. Для її вирішення, формулу 2.31 треба представити у вигляді системи лінійних алгебраїчних рівнянь.

Методи рішення систем лінійних алгебраїчних рівнянь, які використовуються на практиці, умовно можна розділити на дві групи:

- точні методи;
- методи послідовних наближень.

Найбільший інтерес при вирішенні технічних завдань представляють точні методи. Ці методи характеризуються тим, що з їх допомогою можливо, виконавши кінцеве число операцій, отримати точні значення невідомих коефіцієнтів. При цьому передбачається, що коефіцієнти в правій частині системи точні, а всі обчислення проводяться без заокруглень. Найчастіше обчислення проводяться в два етапи. На першому етапі система перетворюється в більш простий вигляд, а на другому - вирішують спрощену систему і отримують значення невідомих коефіцієнтів.

Найпростішим з точних методів є метод винятків. Перетворюючи рівняння системи, домагаються того, що у всіх рівняннях, крім одного, буде виключатися одне з невідомих. Потім виключається друге невідоме, третє і т.д. В результаті виходить система, рішення якої не представляє особливих зусиль. До цього методу слід віднести: схему Гаусса з вибором головного елемента; компактну схему Гаусса; схему Жордана зі зворотним ходом, схему Жордана без зворотного ходу і ін.

У даній роботі, для визначення коефіцієнтів регресії застосована схема Жордана без зворотного ходу. Перевага цієї схеми полягає в тому, що при її застосуванні не потрібний зворотний хід при визначенні невідомих коефіцієнтів. У всьому іншому, принципових відмінностей знаходження коефіцієнтів, при вирішенні систем лінійних алгебраїчних рівнянь, в порівнянні з іншими вище згаданими схемами, немає.

Підставляючи значення коефіцієнтів в рівняння 2.31, можна визначити залишкову вартість і експлуатаційні витрати при будь-якому пробігові агрегату.

Обробка даних по визначенню коефіцієнтів рівнянь, що описують зміну витрат в залежності від пробігу з застосуванням схеми Жордана без зворотного ходу, на прикладі двигуна ЯМЗ-238, виконана на ЕОМ.

#### 2.4.2 Вибір варіантів і показників ремонтпридатності

На автотранспортних підприємствах застосовується значна кількість варіантів організації планово - запобіжного ремонту двигунів, що відрізняються один від одного структурою і періодичністю. Треба відзначити, що структура кожного варіанта характеризується кількістю ремонтів, їх змістом і витратами на їх проведення. Для двигунів кар'єрного транспорту найчастіше застосовують такі варіанти планово - запобіжного ремонту:

- відновлення працездатності тільки виконанням ремонтів (КР - КР - ...);
- відновлення працездатності шляхом чергування попереджувального (ПР1) і капітального (КР) ремонтів (ПР1 - КР - ПР1 - КР - ...);
- відновлення працездатності шляхом виконання послідовно двох попереджувальних (ПР1 і ПР2) і капітального (КР) ремонтів (ПР1 - ПР2 - КР - ПР1 - ПР2 - КР - ...).

При виборі оптимального варіанту структури планово - запобіжного ремонту двигунів, необхідно визначити показники ремонтпридатності ( $L_{ag}^{cp}$ ,  $C_{\Sigma}$ ,  $C_{уд}$ ) по кожному з розглянутих варіантів і порівняти їх між собою.

Середній ресурс двигуна визначається за формулою:

$$L_{ag}^{cn} = \frac{1}{n} \sum_1^n \left( l_0 + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{1+3} l_{ij} \right), \quad (2.32)$$

де  $L_{ag}^{cp}$  - середній ресурс двигуна до списання, км;

$n$  - кількість підконтрольних двигунів, шт.;

$l_0$  - ресурс нового двигуна до його постановки на перший планово - запобіжний ремонт, км;

$i$  - кількість ремонтних циклів ( $i = 1, 2, 3, \dots, N$ );

$l_{ij}$  - міжремонтний ресурс двигуна, км;

$j$  - кількість проведених планово-запобіжних ремонтів за цикл. Для варіанту КР -КР - ...,  $j = 1$ ; для варіанту ПР1 - КР - ...,  $j = 2$ ; для варіанту ПР1 - ПР2 - КР - ...,  $j = 3$ .

Середні сумарні витрати, що враховують вартість двигуна і витрати на підтримку його в працездатному стані, можна визначити за формулою:

$$C_{\Sigma} = \frac{1}{n} \sum_1^n \left( C_0^{\min} + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{1:3} C_{ij}^{\min} \right), \quad (2.33)$$

де  $C_{\Sigma}$  - середні сумарні витрати вартості двигуна і витрат на підтримку його в працездатному стані, грн.;

$C_0^{\min}$  - величина мінімальних сумарних витрат на підтримання двигуна в працездатному стані до моменту проведення першого планово - запобіжного ремонту, грн.;

$C_{ij}^{\min}$  - величина мінімальних сумарних витрат на підтримання двигуна в працездатному стані після проведення  $j$ -го планово - запобіжного ремонту, грн .

Питомі витрати на 1 км пробігу двигуна визначаються по формулі:

$$C_{num} = \frac{C_0^{\min} + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{1:3} C_{ij}^{\min}}{l_0 + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{1:3} l_{ij}}, \quad (2.34)$$

Для визначення середніх сумарних витрат по підтримці двигуна в працездатному стані, виникає необхідність мати у своєму розпорядженні

вихідні данні зі зміни вартості двигуна і експлуатаційних витрат в процесі його експлуатації.

### 2.4.3 Обґрунтування обмежень при виборі оптимального варіанта структури планово - запобіжного ремонту двигунів

При виборі оптимального варіанту структури планово - запобіжного ремонту двигунів слід керуватися необхідними і достатніми критеріями. Необхідні і достатні критерії це свого роду обмеження, які характеризують працездатність двигуна в певні періоди його експлуатації. До таких обмежень слід віднести мінімально допустимий пробіг  $L_{\min}$  і гранично допустимі питомі витрати на 1000 км пробігу  $C_{\text{пит.в}}$  в після ремонтний період.

Обмеження, необхідні для визначення оптимальності прийнятого рішення, мають такий вигляд:

$$L_{\text{мр}} \geq L_{\min}, \quad (2.35)$$

$$C_{\text{рв}}^{\text{пит}} = \min \frac{Q_i}{L_{\text{мр}}} \cdot 1000, \quad (2.36)$$

де  $L_{\text{мр}}$  - міжремонтний пробіг двигуна після проведення планово - запобіжного ремонту, км;

$L_{\min}$  - мінімально допустимий пробіг двигуна після проведення планово - запобіжного ремонту (ПР або КР), км;

$C_{\text{рв}}^{\text{пит}}$  - фактичні питомі витрати на 1000 км пробігу після проведення планово - запобіжного ремонту (ПР або КР), грн. / 1000 км;

$Q_i$  - витрати на ремонт двигуна після проведення  $i$ -го планово - запобіжного ремонту (ПР або КР), грн.

Згідно 2.35, одним з обмежень є мінімально допустимий пробіг  $L_{\min}$  після проведення планово - запобіжного ремонту. Введення цього обмеження

необхідне для визначення пробігу, при якому подальша експлуатація двигуна економічно недоцільна. Величина мінімально допустимого пробігу встановлюється з розрахунку 90% ймовірності того, що ресурс всіх підконтрольних двигунів потрапить в заданий інтервал.

Другим обмеженням (2.36), при визначенні оптимальності прийнятого рішення, є мінімум питомих витрат на 1000 км пробігу. Введення цього обмеження дозволить остаточно вибрати той вид планово - запобіжного ремонту, у якого витрати на 1000 км пробігу були б найменшими. Величина мінімально допустимих значень питомих витрат на 1000 км пробігу визначається дослідним шляхом, але тільки стосовно до того варіанту підтримки і відновлення працездатності двигуна.

#### 2.4.4 Розробка алгоритму вибору оптимального варіанта структури планово - запобіжного ремонту двигуна

Для вирішення завдання щодо вибору оптимального варіанта структури планово - запобіжного ремонту, розроблений алгоритм. В основу алгоритму покладено принцип порівняння розглянутих варіантів. При вирішенні поставленого завдання вводяться вихідні дані початкових функцій передбачуваних планово - запобіжних ремонтів і визначаються мінімальні сумарні витрати на планово - запобіжний ремонт двигуна  $C_{\Sigma pв}$ . За даними  $C_{\Sigma pв}$  знаходиться величина пробігу  $L_{ipв}$ , на якому повинен виконуватися той чи інший вид планово - запобіжного ремонту, і питомі витрати на 1000 км пробігу -  $C_{ipв}^{пит}$ .

Величина витрат на 1000 км пробігу після проведення планово - запобіжного ремонту визначається за формулою:

$$C_{ipв}^{num} = \frac{C_{\Sigma pв}}{L_{in} - L_{(i-1)n}}, \quad (2.37)$$

де  $C_{іrv}^{пит}$  - питомі витрати на планово - запобіжний ремонт двигуна після проведення чергового планово - запобіжного ремонту, грн. / 1000 км;

$C_{\Sigma rv}$  - сумарні мінімальні витрати на планово - запобіжний ремонт після проведення останнього планово - запобіжного ремонту, грн.;

$L_{іrv}$  - пробіг двигуна після проведення чергового планово - запобіжного ремонту, км;

$L_{(i-1)n}$  - пробіг двигуна до проведення чергового планово - запобіжного ремонту, км.

Необхідною умовою вибору оптимального планово - запобіжного ремонту служить обмеження 2.35. Навіть якщо за всіма ремонтними обслуговуваннями виконується умова  $L_{mp} \geq L_{min}$ , оптимальність прийнятого рішення перевіряється за умовою 2.36, згідно з якою витрати на 1000 км пробігу повинні бути найменшими.

Якщо міжремонтний пробіг після чергового планово - запобіжного ремонту буде меншим мінімально допустимого ( $L_{mp} < L_{min}$ ), то виконання планово - запобіжного ремонту (ПР або КР) недоцільне і двигун підлягає списанню.

Знаючи сумарні значення  $C_{\Sigma rv}$  і  $L_{іrv}$  для кожного аналізованого варіанта, визначаємо значення  $C_{rv}^{пит}$ . Оптимальним варіантом структури планово - запобіжного ремонту двигуна буде вважатися той, у якого витрати на 1000 км пробігу, в період до капітального планово - запобіжного ремонту, будуть найменшими (за умови, що  $L_{mp} \geq L_{min}$ ).

Обробка даних, для визначення оптимальної структури планово-запобіжного ремонту, на прикладі двигуна ЯМЗ-238, виконана із застосуванням ЕОМ.

Для вибору оптимальної структури планово - запобіжного ремонту двигунів кар'єрного транспорту із застосуванням розробленого алгоритму, необхідно мати у своєму розпорядженні вихідні дані показників ремонтпридатності по розглянутих варіантах.



## 2.5 Висновки до другого розділу

1. Здійснено постановку задачі формування оптимальних замін зношених елементів двигунів, виділено найбільш значущі чинники, і встановлено закономірності яким вони підкоряються.

2. Сформовано цільову функцію оптимізації планово - запобіжного ремонту двигунів кар'єрного транспорту. Описано складові, які входять в цільову функцію: питомі втрати доходу, питомі витрати на заміну зношених елементів, втрати внаслідок недовикористання ресурсу елементів і втрати внаслідок додаткової кількості розбирань - складань і припрацювання при знаходженні двигуна в планово - запобіжному ремонті.

3. Здійснено математичний опис вибору оптимальної структури та періодичності замін зношених елементів двигунів зокрема описано зміни експлуатаційних витрат по розглянутих варіантах структури планово - запобіжного ремонту двигунів, обґрунтовано обмеження при виборі оптимального варіанта структури планово - запобіжного ремонту двигунів

### РОЗДІЛ 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ДЕФЕКТІВ, ЗНОСІВ І ПОКАЗНИКІВ РЕМОНТОПРИДАТНОСТІ ДВИГУНІВ

Підтвердження теоретичних положень по відновленню працездатності двигунів, методом заміни зношених елементів, вимагає проведення експериментальних досліджень.

Розрізняють такі методи експериментальних досліджень: лабораторні, дорожні, полігонні і експлуатаційні. Не вдаючись до детального аналізу існуючих методів досліджень відзначимо, що тільки експлуатаційні випробування, незважаючи на їх тривалість, дають досить повну і надійну інформацію про якість і властивості досліджуваних двигунів.

Метою експлуатаційних випробувань є накопичення даних про відмови та несправності, витрати і втрати, зміни показників ремонтпридатності і іншої інформації за весь період спостережень за підконтрольною партією двигунів.

Взаємозв'язок зносу деталей і погіршення експлуатаційних показників двигунів, а також продуктивності транспортного засобу і собівартості одиниці транспортної роботи дозволяє обґрунтувати і встановити час постановки двигуна на доцільний вид планово - запобіжного ремонту [25]. Дослідивши причини і характер появи дефектів, можна вирішувати питання підвищення ресурсу двигунів кар'єрного транспорту і поліпшення показників ремонтпридатності.

Показник довговічності, як один з основних властивостей конструкції, є найбільш достовірним критерієм оцінки досконалості конструкції двигуна, якості його виготовлення і планово - запобіжного ремонту. Ресурс двигуна лімітується в основному зносом і ступенем спотворення геометричної форми деталей. З метою вдосконалення планово - запобіжного ремонту, вельми важливим є вивчення дефектів і зносів основних деталей двигуна під час потрапляння їх в перший капітальний планово - запобіжний ремонт.

Види, періодичність і зміст планово – запобіжного ремонту істотно впливають на показники ремонтпридатності і його ефективність. Їх вивчення

дозволить оцінити рішення щодо вдосконалення планово - запобіжного ремонту двигунів кар'єрного транспорту.

При проведенні експериментальних досліджень, до підконтрольних двигунів необхідно пред'явити наступні вимоги.

Всі підконтрольні двигуни повинні бути новими - що не піддавалися раніше ремонту, а планово - запобіжний ремонт під час їх експлуатації, має проводитися строго відповідно до вимог заводських інструкцій [9] і Положення про технічне обслуговування і ремонт рухомого складу автомобільного транспорту.

Як об'єкти досліджень були обрані двигуни автомобілів КрАЗ, що працюють в кар'єрах. Завантаження автомобілів відповідає нормам, передбаченим інструкціями заводу-виготовлювача.

Пробіг з вантажем становив 50% від загального пробігу.

Експлуатація підконтрольних двигунів проводилася в три зміни, що дозволило прискорити отримання результатів експерименту.

### 3.1 Результати дослідження дефектів та зносів основних деталей двигуна ЯМЗ-238

#### **Блок циліндрів.**

Технічний стан блоків циліндрів оцінювався по зношенню основних поверхонь, що сполучаються, а також по найбільш характерним пошкодженням. Мікрометрування проводилось для наступних поверхонь основних сполучень: верхні і нижні пояси під гільзи циліндрів, глибина проточок під буртик гільзи, посадочні місця під зовнішню обойму корінних підшипників колінчастого валу, внутрішні поверхні втулок під осі штовхачів, внутрішні поверхні втулок під розподільний вал і ін.

За результатами досліджень [25, 26] щодо основних поверхонь блоків циліндрів двигунів ЯМЗ-238, було встановлено наступне.

Діаметри 67% верхніх і 62% нижніх посадочних поясів під гільзи циліндрів знаходяться в межах допусків передбачених кресленнями заводу

виготівника - для нижніх -  $\varnothing 151+0,04$  мм і для верхніх -  $\varnothing 153+0,04$  мм. Овальність 90% нижніх і 94% верхніх посадочних поясів не перевищує величини 0,01 мм.

Абсолютна більшість канавок (66%) під буртик гільзи зазначених двигунів знаходяться в межах розмірів, передбачених кресленнями –  $12\pm 0,035$  мм. Середнє значення глибини проточки склало - 12,02 мм.

Діаметр внутрішніх поверхонь отворів під вісь штовхачів у абсолютної більшості двигунів не перевищує розмірів допустимих без ремонту - 22,06 мм і тільки 13% отворів перевищили вказаний розмір. Середнє значення зносу вказаних отворів склало 0,06 мм.

Діаметр отворів у втулках під опорні шийки розподільного вала у 63% двигунів відповідає значенням розміру за кресленням -  $\varnothing 54+0,03$  мм, а 25% отворів не перевищили розміру допустимого без ремонту -  $\varnothing 54,04$  мм. Лише у 12% двигунів діаметр отворів був більше 54,04 мм.

Поверхні отворів під зовнішню обойму підшипників колінчастого вала в основному знаходяться в межах розмірів на виготовлення -  $\varnothing 260_{-0,080}^{-0,053}$  мм, і лише 3% блоків циліндрів по даному параметру потребують відновлення, так як їх значення перевищили норматив, що допускається без ремонту -  $\varnothing 259,955$  мм.

Викривлення привалочних поверхонь під головку циліндрів у 66% блоків знаходяться в межах допуску на виготовлення - 0,02 мм, а у 34% - не перевищує норматив допустимий без ремонту - 0,05 мм.

Зовнішнім оглядом у блоків циліндрів двигунів ЯМЗ-238 були виявлені такі дефекти як кавітаційний знос нижнього посадочного пояса - 3% і тріщини які проходять через ребро жорсткості - 2%.

Дослідження дефектів і зносів блоків циліндрів дозволяють зробити висновок про те, що під час потрапляння двигунів на планово - запобіжний ремонт, знос і викривлення основних поверхонь, досить незначні, тому абсолютна їх більшість придатна до подальшої експлуатації і практично не потребують ремонту.

Графічна характеристика розподілу відмов блоків циліндрів двигунів ЯМЗ-238, наведена на рисунку 3.1. Основні параметри цього розподілу, отримані в результаті статистичної обробки, узгоджуються з законом нормального розподілу і склали -  $l_{cp} = 82,5$  тис. км,  $\sigma = 13,3$  тис. км,  $\nu = 0,161$ .

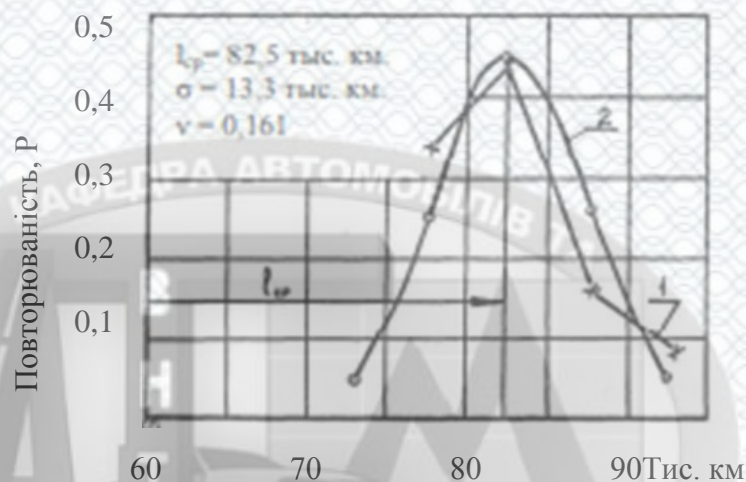


Рисунок 3.1 - Характеристика розподілу відмов блоку циліндрів двигуна ЯМЗ-238 в залежності від пробігу:

1 – дослідна повторюваність; 2 - теоретична повторюваність;  $l_{cp}$  - середній ресурс деталі до відмови

### Гільза циліндрів.

У гільз циліндрів мікрометражу піддавалися: внутрішня робоча поверхня, верхній і нижній пояси і висота бурту [25].

Найбільший знос спостерігається в зоні верхнього компресійного кільця при положенні поршня у верхній мертвій точці в площині, перпендикулярній осі колінчастого валу. Внутрішній діаметр всіх досліджуваних гільз перевищував розмір допустимий без ремонту -  $\varnothing 130,18$  мм, а овальність у 72% гільз циліндрів перевищила величину, допустиму без ремонту - 0,035 мм. Середній знос гільз циліндрів двигунів, що надходять в перший планово - запобіжний ремонт, склав 0,3 мм.

Діаметри верхнього і нижнього пасків гільзи у їх абсолютної більшості знаходяться в межах розмірів, передбачених робочим кресленням, відповідно, -  $\varnothing 153_{-0,09}^{-0,05}$  мм і  $\varnothing 151_{-0,09}^{-0,05}$  мм.

Висота опорного бурту гільз циліндрів двигунів також перебувала в межах розмірів, передбачених кресленням заводу-виготівника -  $12,1 + 0,03$  мм. Тільки у 7% гільз циліндрів вона була менше 12,1 мм.

При зовнішньому огляді на дзеркалі всіх гільз циліндрів були виявлені риси і мікротріщини.

Проведені дослідження дозволяють зробити висновок про те, що всі 100% гільз циліндрів підлягають відновленню під ремонтний розмір [25].

Графічна характеристика розподілу відмов гільз циліндрів двигунів ЯМЗ-238 приведена на рисунку 3.2. Основні параметри розподілу, отримані в результаті статистичної обробки методом моментів, узгоджуються з законом нормального розподілу і склали -  $l_{cp} = 45$  тис. км,  $\sigma = 6,6$  тис. км,  $\nu = 0,136$ .

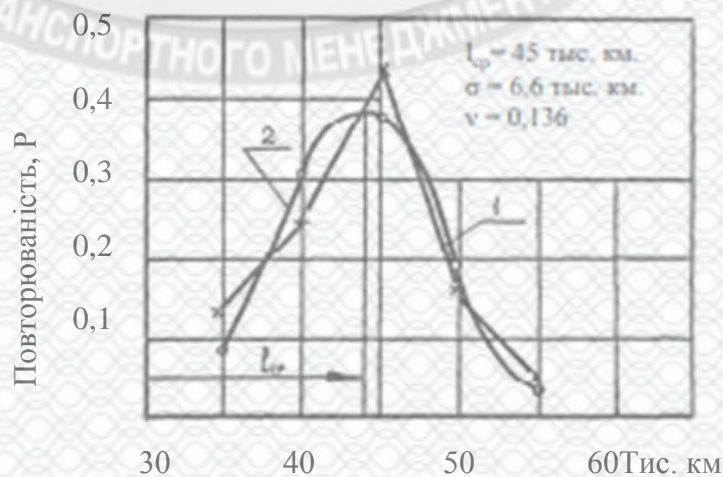


Рисунок 3.2 - Характеристика розподілу відмов гільз циліндрів двигунів ЯМЗ-238 в залежності від пробігу:

1 – дослідна повторюваність; 2 - теоретична повторюваність;  $l_{cp}$  - середній ресурс деталі до відмови

### Головка циліндрів.

При дослідженні головок циліндрів визначалося стан отворів в направляючих втулках клапанів, стан фасок сідел клапанів і викривлення площини, дотичної з блоком циліндрів [25].

В результаті вимірів встановлено, що 29% внутрішніх поверхонь втулок клапанів мають розмір відповідно до робочого кресленням -  $\varnothing 12^{+0,019}$  мм і тільки 20% втулок мали значення, що перевищують допустимі без ремонту нормативи -  $\varnothing 12,03$  мм.

Зовнішнім оглядом встановлено, що у 75% сідел клапанів ширина робочих фасок знаходиться в межах  $2,0 \div 2,5$  мм для впускних і  $1,5 \div 2,3$  мм для випускних клапанів, що відповідає показникам допустимим без ремонту. Слід зазначити, що на всіх поверхнях фасок були виявлені подряпини і мікротріщини.

Викривлення площини головок циліндрів, що стикається з блоком, не перевищує допустимого значення - 0,05 мм. Середнє значення викривлення склало 0,03 мм.

При дослідженні відзначалися поодинокі випадки утворення тріщин в вихлопному каналі головок циліндрів.

Встановлено, що 25% головок циліндрів виробили свій ресурс і потребують відновлення. Решта головки придатні для подальшої експлуатації без відновлення.

В результаті можна зробити висновок, що ресурс головок циліндрів трохи менший ресурсу базової деталі. Для підвищення її ресурсу необхідно підвищити зносостійкість напрямних втулок клапанів, сідел клапанів, а також їх стійкість до викривлення. Цього можна досягти шляхом застосування матеріалів з більш високими показниками зносостійкості і термостійкості.

Графічна характеристика розподілу відмов головок циліндрів двигунів ЯМЗ-238 приведена на рисунку 3.3. Основні параметри розподілу, отримані в результаті статистичної обробки методом моментів, узгоджуються з законом нормального розподілу і склали -  $l_{cp} = 82,0$  тис. км,  $\sigma = 11,1$  тис. км,  $\nu = 0,135$ .

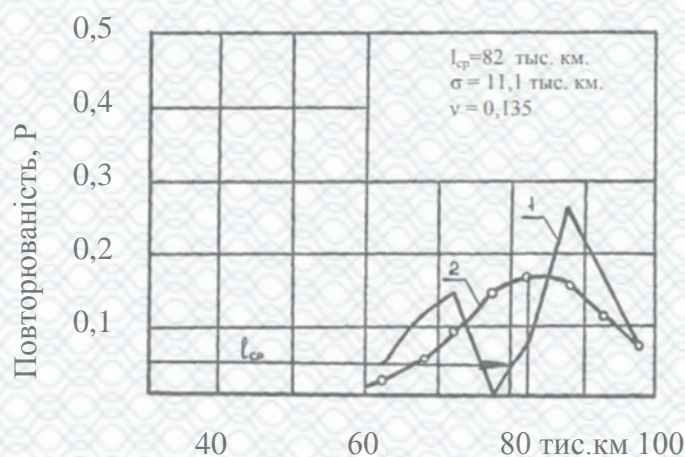


Рисунок 3.3 - Характеристика розподілу головок циліндрів двигуна ЯМЗ-238 в залежності від пробігу:

1 - дослідна повторюваність; 2 - теоретична повторюваність;  $l_{ср}$  - середній ресурс деталі до відмови

### Поршень.

Контроль поршнів проводився по зовнішній поверхні юбки, внутрішньої поверхні отворів під поршневий палець і висоті поршневих канавок під компресійні і маслоз'ємні кільця. Результати досліджень показали наступне [25].

Знос юбки поршня вимірювався на відстані 153 мм від днища, так як в цьому місці спостерігається максимальний знос. Середній знос юбки поршнів склав 0,14 мм.

На технічний стан двигуна (димлення, угар мастила, падіння потужності і т.д.), значний вплив робить знос поршневих канавок. Канавки під поршневі кільця зношуються нерівномірно по колу, тому замір їх проводився в 4-х точках, а за величину зносу приймалося середнє значення. Як видно з рисунка 3.12, у двигунів, що надійшли в перший планово - запобіжний ремонт, знос канавок під компресійні кільця коливається від 0,15 мм до 0,70 мм, а під маслоз'ємні кільця, від 0,10 мм до 0,45 мм. Середній знос канавок під компресійні кільця склав 0,39 мм, 0,32 мм, 0,29 мм, під маслоз'ємні кільця - 0,24 мм і 0,21 мм. Найбільшому зносу піддається канавка під верхнє



компресійне кільце. Співвідношення зносів канавок під компресійні кільця можна прийняти рівним: 1,0: 0,826: 0,688; під маслоз'ємні кільця - 1,0.

Діаметр внутрішньої поверхні отворів під поршневий палець у 43% поршнів перевищив значення допустимі без ремонту -  $\varnothing 50,01$  мм і підлягають заміні.

Зовнішнім оглядом на юбках поршнів виявлені подряпини і задири.

Дослідження показали, що 100% поршнів за своїм технічним станом не придатні до подальшої експлуатації і підлягають заміні.

Графічна характеристика розподілу відмов поршнів двигунів ЯМЗ-238, наведена на рисунку 3.4. Основні параметри розподілу, отримані в результаті статистичної обробки методом моментів, узгоджуються з законом нормального розподілу і склали -  $l_{cp} = 45,5$  тис. км,  $\sigma = 7,5$  тис. км,  $v = 0,164$ .

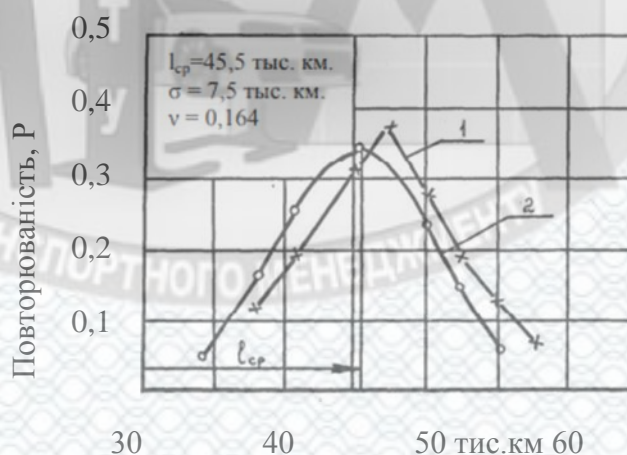


Рисунок 3.4 - Характеристика розподілу відмов поршнів двигунів ЯМЗ-238 в залежності від пробігу:

1 – дослідна повторюваність; 2 - теоретична повторюваність;  $l_{cp}$  - середній ресурс деталі до відмови

### Пальці поршневі.

Дані мікрометрування показали, що 90% пальців по зовнішньому діаметру знаходяться в межах допуску на виготовлення -  $\varnothing 50_{-0,008}$  мм і тільки

10% мали знос в межах  $0,009 \div 0,01$  мм, що відповідає нормативам допустимим без ремонту. Середній знос пальців по зовнішньому діаметру склав  $0,006$  мм.

Мікрометраж поршневих пальців показав, що їх знос при пробігові  $80,0 - 90,0$  тис. км незначний ( $0,005-0,007$  мм), і вони не лімітують ресурс двигуна до планово - запобіжного ремонту [25].

На рисунку 3.5 показана характеристика розподілу відмов поршневих пальців двигунів ЯМЗ-238. Основні параметри розподілу, отримані в результаті статистичної обробки методом моментів, узгоджуються з законом нормального розподілу і склали -  $l_{cp} = 88,5$  тис. км,  $\sigma = 13,3$  тис. км,  $v = 0,153$ .

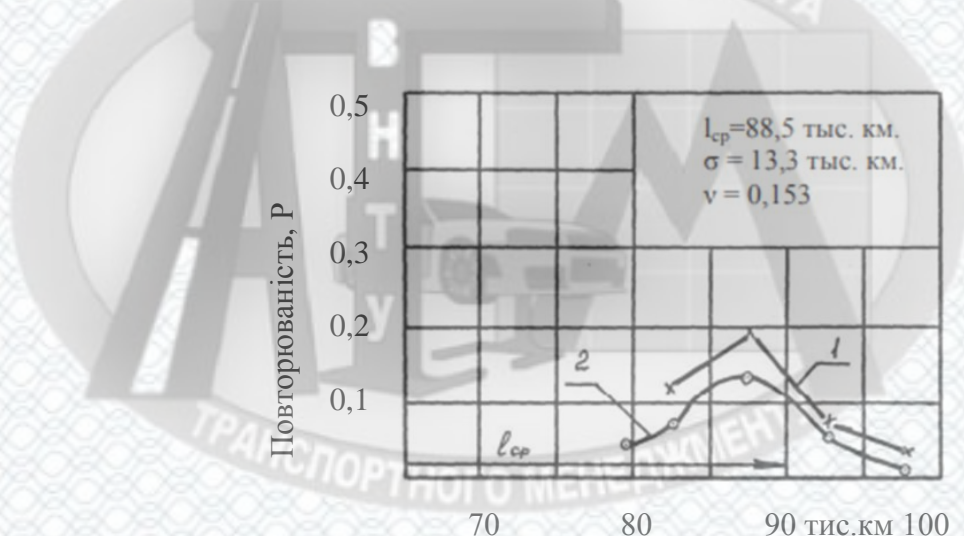


Рисунок 3.5 - Характеристика розподілу відмов поршневих пальців двигунів ЯМЗ-238 в залежності від пробігу:

1 – дослідна повторюваність; 2 - теоретична повторюваність;  $l_{cp}$  - середній ресурс деталі до відмови

### Кільця поршневі.

Технічний стан поршневих кілець зазвичай оцінюється по їх радіальному зносу і зносу по висоті.

Як показує практика [24], радіальний знос поршневих кілець не робить істотного впливу на технічний стан двигуна, тому в даній роботі досліджувалися лише знос поршневих кілець по висоті.

Встановлено, що знос поршневих кілець не однаковий. Найбільший знос має верхнє компресійне кільце, за ним слідує друге і далі третє, а мінімальний знос був встановлений у нижнього маслосборного кільця. Середній знос компресійних кілець дорівнює, відповідно, 0,33 мм, 0,26 мм, 0,19 мм, маслосборних - 0,13 мм і 0,12 мм. Співвідношення зносів першого, другого і третього компресійних кілець склав - 1,0: 0,803: 0,594.

Зазор в стикі для компресійних кілець в середньому склав 3,8 мм, для маслосборних - 3,2 мм.

Виконані дослідження дозволяють зробити висновок, що всі поршневі кільця при надходженні двигуна в перший планово - запобіжний ремонт підлягають заміні.

Графічна характеристика розподілу відмов верхніх компресійних кілець двигунів ЯМЗ-238, показана на рисунку 3.6. Основні параметри розподілу, отримані в результаті статистичної обробки методом моментів, узгоджуються з законом нормального розподілу і склали -  $l_{cp} = 45,0$  тис. км,  $\sigma = 7,5$  тис. км,  $v = 0,166$ .

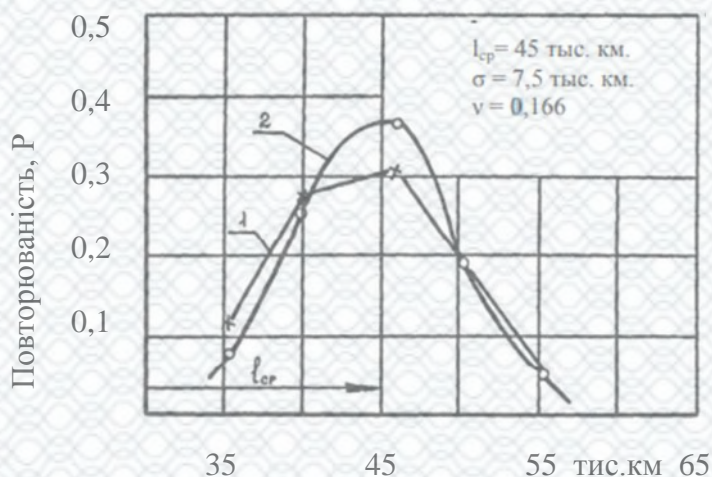


Рисунок 3.6 - Характеристика розподілу відмов поршневих кілець двигунів ЯМЗ-238 в залежності від пробігу:

1 – дослідна повторюваність; 2 - теоретична повторюваність;  $l_{cp}$  - середній ресурс деталі до відмови

### Шатун.

Розподіл зносів втулок верхніх головок шатунів по внутрішній поверхні показав, що 79% втулок має знос  $0,01 \div 0,03$  мм, що не перевищує допустимих значень без ремонту, а їх овальність у 50% двигунів дорівнює  $0,03 \div 0,04$  мм. Середній знос втулок склав  $0,025$  мм [25].

Збільшення діаметра отворів нижньої головки шатуна більше допустимого, спостерігається у 28% двигунів.

Відстань між осями отворів верхньої і нижньої головок у всіх шатунів не перевищує значень допустимих без ремонту -  $297,87$  мм.

Результати досліджень показують, що 50% шатунів мають овальність отвору втулки верхньої головки шатуна  $0,03$  мм і більше і тому підлягають відновленню.

Для підвищення надійності і довговічності шатунів слід підвищити зносостійкість втулки верхньої головки шатуна і жорсткість нижньої головки.

Характеристика розподілу відмов шатунів двигунів ЯМЗ-238 показана на рисунку 3.7. Параметри розподілу відмов, отримані в результаті статистичної обробки методом моментів, узгоджуються з законом нормального розподілу і склали -  $l_{cp} = 84,5$  тис. км,  $\sigma = 11,73$  тис. км,  $v = 0,138$ .

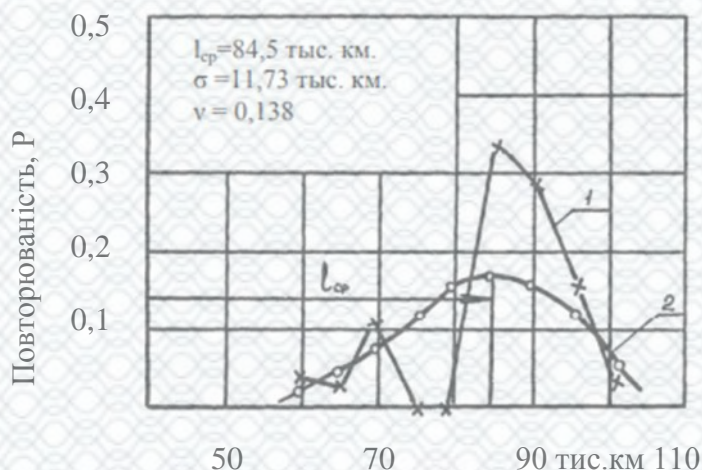


Рисунок 3.7 - Характеристика розподілу відмов шатунів двигунів ЯМЗ-238 в залежності від пробігу:

1 – дослідна повторюваність; 2 - теоретична повторюваність;  $l_{cp}$  - середній ресурс деталі до відмови

### **Вал колінчастий.**

Розподіл зносів шатунних шийок колінчастого вала, двигунів які надходять в перший планово - запобіжний ремонт показав, що 19% колінчастих валів мають діаметр шатунних шийок в межах розмірів допустимих без ремонту незалежно від ремонтного розміру, а у 70% колінчастих валів їх знос не перевищує 0,07 мм. Діаметр корінних опор колінчастого вала при цьому знаходиться в межах розмірів заданих кресленням заводу-виготовлювача -  $\varnothing 191,92_{-0,02}$  мм. Середнє значення зносу шатунних шийок становить 0,05 мм, корінних - 0,01 мм. У незначній частини шатунних шийок спостерігаються мікротріщини, а у 28% двигунів мали місце задираки, які є наслідком провороту вкладишів.

Биття по середній корінній опорі у 2% колінчастих валів знаходиться в межах допуску на виготовлення - 0,04 мм. У 66% двигунів биття колінчастих валів по середній опорі було в межах 0,05 ÷ 0,09 мм, що відповідає биттю допустимому без ремонту і тільки 28% колінчастих валів мали биття, яке перевищувало допустиме без ремонту - 0,09 мм.

Овальність шатунних шийок в межах допуску на виготовлення (0,01 мм) спостерігалась у 83% колінчастих валів, у 10% - овальність була в межах 0,011 ÷ 0,015 мм, що відповідає значенням допустимим без ремонту. У 7% колінчастих валів овальність перевищила 0,015 мм. Овальність же корінних опор колінчастих валів практично дорівнює нулю.

Зовнішнім оглядом у двигунів ЯМЗ-238 встановлені наступні дефекти: злам валу - 3%, викришування бігової доріжки корінних опор (пітінг) - 5%, кольори мінливості - 2%.

Проведені дослідження дозволяють зробити наступні висновки: 28% колінчастих валів вимагають правки і відновлення шатунних шийок під ремонтні розміри, 4% колінчастих валів підлягають заміні.

Характеристика розподілу відмов колінчастого вала двигунів ЯМЗ-238 показана на рисунку 3.8. Параметри розподілу відмов, отримані за результатами

статистичної обробки методом моментів, узгоджуються з законом нормального розподілу і склали -  $l_{cp} = 61,5$  тис. км,  $\sigma = 6,87$  тис. км,  $v = 0,111$ .

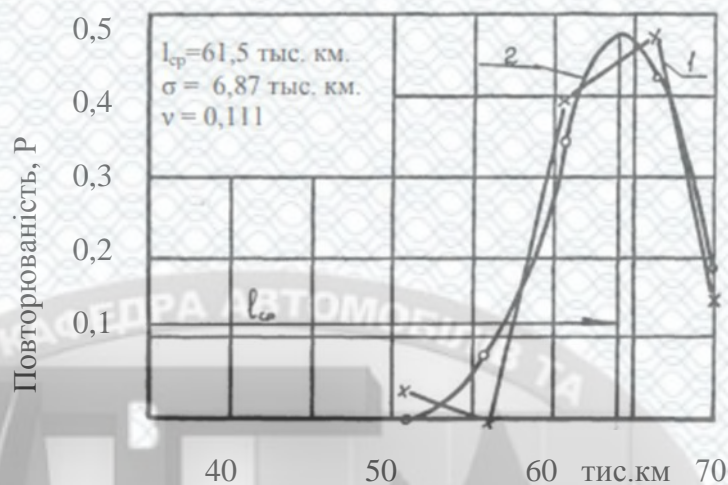


Рисунок 3.8 - Характеристика розподілу відмов колінчастого вала двигунів ЯМЗ-238 в залежності від пробігу:

1 – дослідна повторюваність; 2 - теоретична повторюваність;  $l_{cp}$  - середній ресурс деталі до відмови

### Вкладиші шатунних підшипників.

Стан шатунних вкладишів визначався по зносу антифрикційного шару в їх середній частині, так як на краю вкладиші зношуються незначно.

Необхідно відзначити, що верхні вкладиші зношуються більше ніж нижні. Дослідженнями встановлено, що у 27% вкладишів знос не перевищує 0,11 мм, що допустимо при експлуатації, у 73% вкладишів знос перевищив 0,11 мм. З рисунка 3.22 видно, що середнє значення зносу вкладишів двигунів ЯМЗ-238 становить 0,1 мм.

Співвідношення зносів верхніх і нижніх вкладишів становить 1,8: 1,0.

Зовнішнім оглядом на поверхнях певної частини вкладишів виявлені подряпини і сліди підпалення.

Результати досліджень показують, що близько 80% двигунів які надходять в перший планово - запобіжний ремонт, потребують заміни вкладишів.

На рисунку 3.9 показані характеристики розподілу відмов шатунних вкладишів двигунів ЯМЗ-238. Параметри розподілу відмов, отримані за результатами статистичної обробки методом моментів, узгоджуються з законом нормального розподілу і склали -  $l_{cp} = 57,0$  тис. км,  $\sigma = 7,0$  тис. км,  $v = 0,122$ .

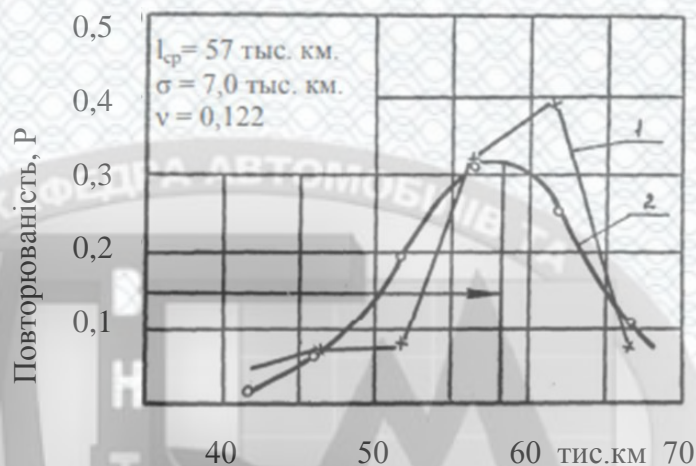


Рисунок 3.9 - Характеристика розподілу відмов шатунних вкладишів двигунів ЯМЗ-238 в залежності від пробігу:

1 – дослідна повторюваність; 2 - теоретична повторюваність;  $l_{cp}$  - середній ресурс деталі до відмови

### Вал розподільний.

Технічний стан розподільного вала визначався за ступенем зносу опорних шийок і кулачків, а також биття вала по середній опорній шийці.

Заміри показали [25], що знос опорних шийок розподільних валів коливається від 0,01 мм до 0,06 мм, причому, у 93% опорних шийок розмір відповідає допустимому без ремонту -  $\varnothing 53,885$  мм. При цьому середнє значення зносу опорних шийок рівне 0,024 мм.

Висота кулачків розподільних валів не перевищує допустимі значення без ремонту - 42,1 мм. Середнє значення зносу впускних і випускних кулачків розподільних валів склало, відповідно, 0,05 мм і 0,06 мм, що значно менше величини допустимого зносу, рівного 0,1 мм.

Биття розподільних валів по середній опорній шийці у 49% двигунів знаходилося в межах допуску на виготовлення - 0,035 мм, 26% мали вигин 0,035 ÷ 0,045 мм, що не перевищує допустиме биття без ремонту. Тільки у 25% розподільних валів вигин перевищив значення 0,045 мм.

Результати досліджень дозволяють зробити висновок, що 75% розподільних валів не вимагають відновлення і придатні до подальшої експлуатації.

На рисунку 3.10 показана характеристика розподілу зносів розподільних валів двигунів ЯМЗ-238. Параметри розподілу відмов, отримані за результатами статистичної обробки методом моментів, узгоджуються з законом нормального розподілу і склали -  $l_{cp} = 86,5$  тис. км,  $\sigma = 13,84$  тис. км,  $v = 0,16$ .

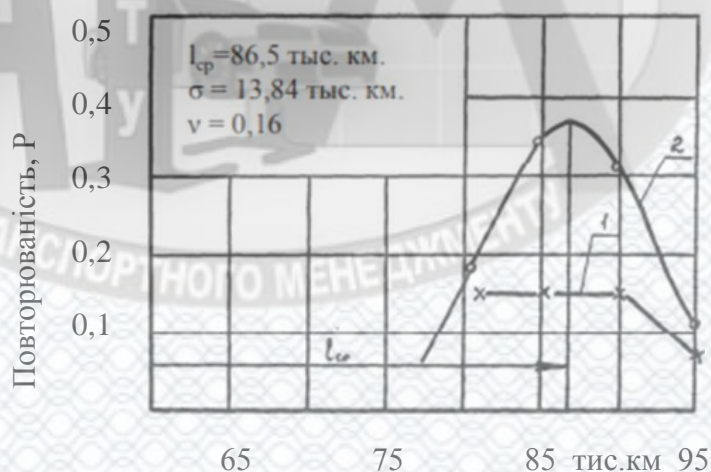


Рисунок 3.10 - Характеристика розподілу відмов розподільного вала двигунів ЯМЗ-238 в залежності від пробігу:

1 – дослідна повторюваність; 2 - теоретична повторюваність;  $l_{cp}$  - середній ресурс деталі до відмови

### Клапани впускні і випускні.

Знос стержнів впускних і випускних клапанів по діаметру у 35% двигунів не виходить за межі розміру на виготовлення -  $\varnothing 12_{-0,095}^{-0,070}$  мм. А у 60% клапанів



діаметри стержнів не перевищують значень допустимих без ремонту -  $\varnothing 11,88$  мм. Середнє значення зносу клапанів склало 0,03 мм.

Встановлено [25], що 90% клапанів мають ширину робочих фасок в межах  $0,76 \div 1,6$  мм для впускних і  $1,0 \div 1,68$  мм для випускних клапанів, що відповідає нормативам допустимим без ремонту. У решти (10%) клапанів, виявлений великий знос фасок, подряпини та інші дефекти.

Довжина стержнів клапанів у 72% двигунів - в межах розміру на виготовлення (впускних -  $156 \pm 0,3$  мм, випускних -  $155_{-0,30}^{+0,25}$ ). 28% клапанів не перевищують нормативних значень допустимих без ремонту (впускних - 155,6 мм, випускних - 155,2 мм). Середнє значення зносу клапанів склало 0,33 мм.

Характеристика розподілу відмов клапанів двигунів ЯМЗ-238 показана на рисунку 3.11. Параметри розподілу відмов, отримані за результатами статистичної обробки методом моментів, узгоджується з законом нормального розподілу і склали -  $l_{cp} = 83,5$  тис. км,  $\sigma = 10,0$  тис. км,  $v = 0,12$ .

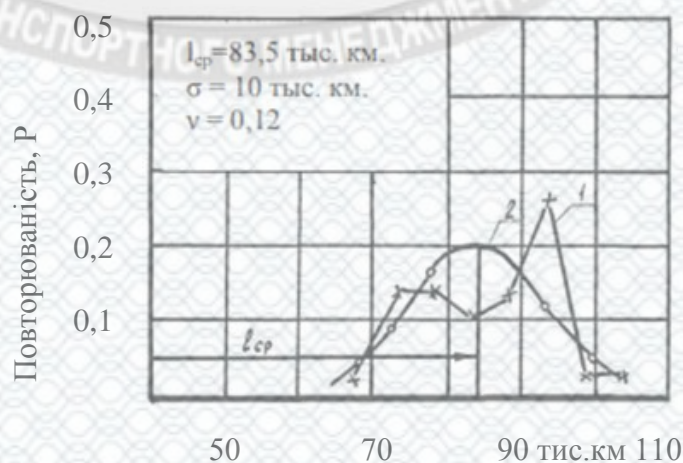


Рисунок 3.11 - Характеристика розподілу відмов клапанів двигунів ЯМЗ-238 в залежності від пробігу:

1 – дослідна повторюваність; 2 - теоретична повторюваність;  $l_{cp}$  - середній ресурс деталі до відмови

### 3.2 Методика визначення показників ремонтпридатності двигунів автомобілів

Як раніше зазначалося, реально застосовуються такі варіанти відновлення працездатності двигунів кар'єрного транспорту:

- 1-й варіант - відновлення працездатності тільки шляхом виконання планово - запобіжного ремонту (КР - КР - ...);

- 2-й варіант - відновлення працездатності шляхом чергування попереджувального і капітального планово - запобіжного ремонту (ПР1 - КР - ...);

- 3-й варіант - відновлення працездатності шляхом чергування двох попереджувальних і капітального планово - запобіжного ремонту (ПР1 - ПР2 - КР ...).

Треба відзначити, що кожен з наведених варіантів, характеризується наступними показниками ремонтпридатності: періодичністю планово - запобіжного ремонту  $L_{\text{мр}}$ , тривалістю простоїв двигунів в планово - запобіжному ремонті  $T_{\text{пр}}$ , ресурсом двигуна до списання  $L_{\text{дв}}^{\text{сп}}$ , сумарними витратами на планово - запобіжний ремонт двигуна до списання  $C_{\Sigma}$  і питомими витратами  $C^{\text{пит}}$ .

Порядок збору та обробки даних, для визначення чисельних значень показників ремонтпридатності, викладені в [9].

Справжня методика передбачає вирішення наступних завдань:

- отримання необхідної інформації для визначення загальних витрат і ресурсу двигуна до списання з кожного розглянутого варіанту;

- визначення економічно доцільного ресурсу двигуна до його списання.

Графічне зображення результатів досліджень, в порівнянні з табличною формою, дає найбільш наочне уявлення про результати експериментів. Дозволяє краще зрозуміти фізичну сутність досліджуваного процесу, виявити загальний характер функціональної залежності досліджуваних змінних величин і встановити наявність максимуму або мінімуму функції.

Як правило, для графічного зображення результатів досліджень, застосовують систему прямокутних координат [22]. У нашому випадку (див.

Рисунок 3.12) графічним методом зображені функції  $C = f(L)$  - зміна експлуатаційних витрат від пробігу і  $C_{дв} = f(L)$  - зміна вартості двигуна від пробігу. На вертикальній осі - витрати в грн., на горизонтальній осі - пробіг в км.

Особливістю побудови графіка  $C_{дв} = f(L)$  є те, що в ньому є одна невизначеність, тобто величина пробігу двигуна, на якому залишкова вартість дорівнює нулю. Завод-виробник з цього приводу не дає ніякої інформації.

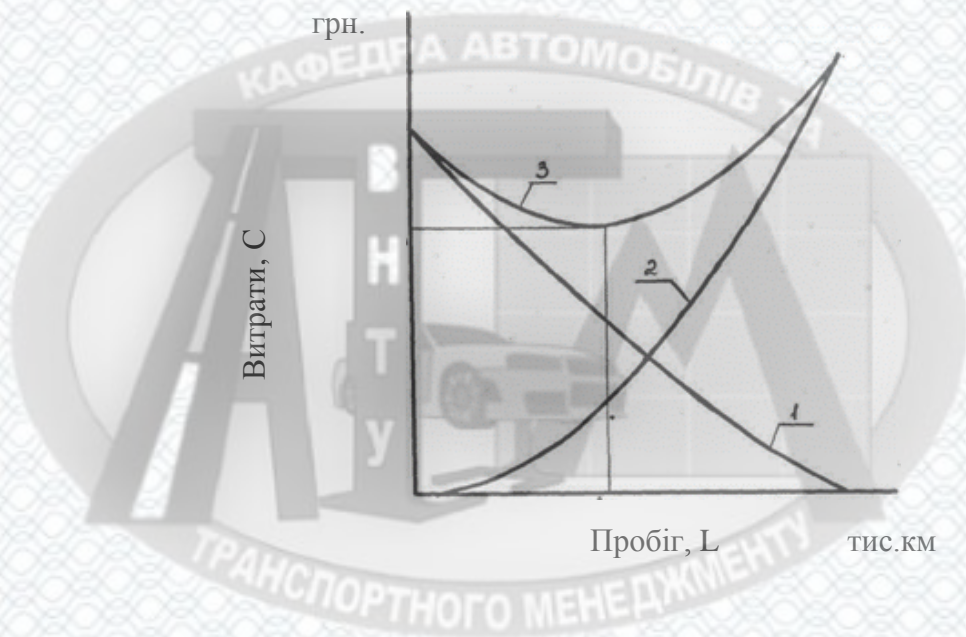


Рисунок 3.12 - Графічне зображення функцій  $C_{ар} = f(L)$  і  $C = f(L)$ :

1 - графік зміни функції  $C_{ар} = f(L)$ ; 2 - графік зміни функції  $C = f(L)$ ; 3 - графік зміни сумарних витрат функцій  $C_{ар} = f(L)$  і  $C = f(L)$ ;  $l_i$  - пробіг двигуна, км;  $C_i$  - експлуатаційні витрати, грн.;  $C_{min}$  - мінімальне значення сумарних витрат, грн.;  $C_{\Sigma}$  - сумарні витрати, грн.

Орієнтовно, цей пробіг можна визначити за такою формулою:

$$L_{сл} = L_{год} \cdot T_{сл}; \quad (3.16)$$

де  $L_{сл}$  - пробіг двигуна до списання, км;

$L_{год}$  - середньорічний пробіг двигуна, км;

$T_{сл}$  - термін служби двигуна, років [3].

В межах цього пробігу і треба розглядати структуру і періодичність планово - запобіжного ремонту, а також визначати чисельні значення показників ремонтпридатності з кожного розглянутого варіанту. Умовно можна прийняти, що після досягнення двигуном величини  $L_{сп}$ , його вартість буде дорівнює нулю.

Як вже зазначалося, що одним з показників ремонтпридатності є загальні витрати на підтримку двигуна в працездатному стані. Ці витрати отримують шляхом підсумовування експлуатаційних витрат і вартості двигуна.

Нижче, розглянемо послідовність графічної побудови залежності експлуатаційних витрат від пробігу. Припустимо, що на пробігові  $l_1$  виникла відмова двигуна. Витрати на його відновлення склали  $C_1$ . Потім відбулася відмова на пробігові  $l_2$ , а витрати на його відновлення з початку експлуатації -  $C_2$  і т. д. Для цього, в системі прямокутних координат задамо точки з координатами  $l_1C_1, l_2C_2, \dots, l_nC_n$ . Поєднуючи їх, отримаємо графічне відображення функції  $C = f(L)$ .

Далі, підсумовуємо значення витрат  $C_{дв} = f(L)$  і  $C = f(L)$  для пробігів  $l_1, l_2, \dots, l_n$  і отримаємо сумарні витрати  $C_{\Sigma 1}, C_{\Sigma 2}$  і т. д. Отримані точки наносимо на графік і з'єднуємо плавною лінією.

Ситуація, при якій одні витрати зменшуються ( $C_{дв} = f(L)$ ), а інші збільшуються ( $C = f(L)$ ), будучи при цьому функцією одного і того ж фактора, дозволяє знайти рішення, яке мінімізує загальні витрати. На рисунку 3.27 показана графічна інтерпретація даного рішення. Точка мінімального значення ( $C_{min}$ ) вказує на необхідність проведення ремонту на пробігу  $l_1$ .

Теоретично, від початку експлуатації двигуна і до досягнення нею пробігу  $L_{сп}$ , для кожного аналізованого варіанта можна провести кілька планово - запобіжних ремонтів відповідно до його структури. Однак це не вказує на те, що всі планово - запобіжні ремонти є економічно доцільними. Остаточний вибір оптимальної структури і кількості доцільних планово - запобіжних ремонтів, визначаємо за питомими витратами на 1 км пробігу агрегату -  $C_{пит}$ , чисельні значення яких визначаються за формулою 2.34.

Визначення економічно доцільного пробігу двигуна до списання полягає в наступному. Будується залежність питомих витрат від пробігу (див. Рисунок 3.13) і визначаються мінімальні значення сумарних витрат залишкової вартості двигуна і експлуатаційних витрат, яким відповідає економічно доцільний пробіг двигуна.

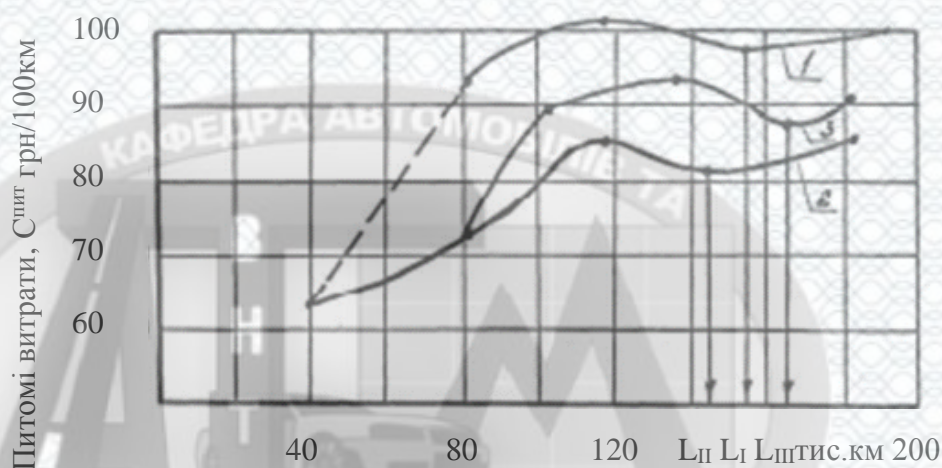


Рисунок 3.13 - Характер зміни питомих витрат на підтримку агрегату в працездатному стані в залежності від пробігу (на прикладі двигуна ЯМЗ-238):

1 - для варіанту КР - КР; 2 - для варіанту ПР1 - КР; 3 - для варіанту ПР1 - ПР2 - КР;

$L_{\text{I}}$ ,  $L_{\text{II}}$ ,  $L_{\text{III}}$  - оптимальний пробіг двигуна до списання, відповідно для варіантів I, II і III

По кожному варіанту порівнюються значення  $C_{\text{опт}}^{\text{пит}}$  і  $L_{\text{сп}}^{\text{опт}}$ , і визначається оптимальний варіант структури ремонтів двигуна до списання.

При визначенні номенклатури деталей одночасно замінних при планово - запобіжних ремонтах ПР1 і ПР2, використовується інформація про ресурс основних деталей агрегату, представлених на рисунку 3.14 (на прикладі двигуна ЯМЗ-238) [25, 26].

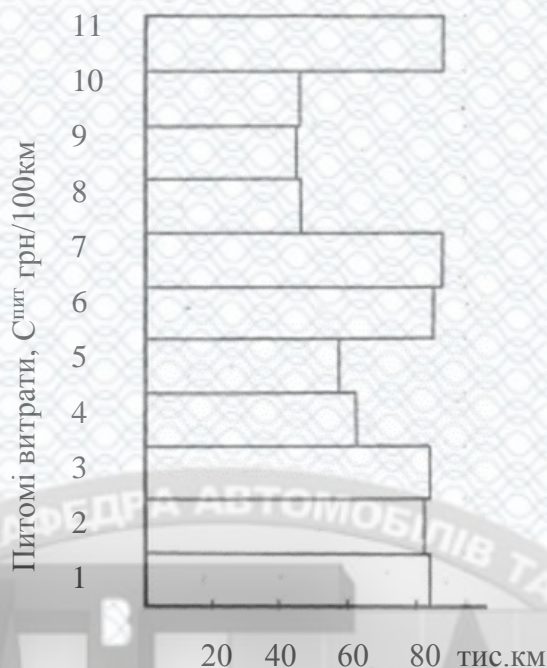


Рисунок 3.14 - Ресурс основних деталей двигуна ЯМЗ-238:

1 - блок циліндрів; 2 - головка циліндрів; 3 - клапана; 4 - вал колінчастий; 5 - вкладиші шатунні; 6 - шатун; 7 - вал розподільний; 8 - поршень; 9 - гільза циліндрів; 10 - кільця поршневі; 11 - палець поршневий

### 3.3 Результати експериментальних досліджень показників ремонтпридатності двигунів при різних варіантах структури планово - запобіжного ремонту

В умовах кар'єрів, планово - запобіжні ремонти ПР1, ПР2 і КР є основними видами планово - запобіжних ремонтів двигунів кар'єрного транспорту. Розглянемо результати експериментальних досліджень показників ремонтпридатності двигунів за цими варіантами на прикладі двигуна ЯМЗ-238.

При виконанні планово - запобіжного ремонту ПР1, як правило, проводиться заміна гільз циліндрів, поршнів, поршневих кілець, шатунних вкладишів і колінчастого вала. Вартість такого ремонту становить 90,0 тис. грн.

При виконанні планово - запобіжного ремонту ПР2 крім заміни деталей, що входять в планово - запобіжний ремонт ПР1, замінюються ще й головки циліндрів, шатуни, клапана та інші деталі двигуна. Вартість такого ремонту не перевищує 160,0 тис. грн.

У таблиці 3.1 наведені дані витрат за результатами експериментальних досліджень, для планово - запобіжних ремонтів ПР1 і ПР2 по кожній складовій, що входить в цільову функцію 2.1.

Розглянемо порядок побудови графіків зміни витрат в залежності від пробігу на прикладі двигуна ЯМЗ-238. Для цього скористаємося результатами експериментальних досліджень працездатності підконтрольних двигунів.

В системі прямокутних координат будуються три варіанти структури планово - запобіжних ремонтів, а саме:

- I-й - варіант КР - КР (див. Рис. 3.15);
- II-й - варіант ПР1 - КР (див. Рис. 3.16);
- III-й - варіант ПР1 - ПР2 - КР (див. Рис. 3.17).

Таблиця 3.1 - Дані фактичних витрат при проведенні планово - запобіжних ремонтів ПР1 і ПР2

Найменування складової	позначення складової	Поелемент на заміна деталей, грн.	Ремонт ПР1, грн.	Ремонт ПР2, грн.
Основна заробітна плата	$C_{зп}^{осн}$	11320	2330	3550
Додаткова заробітня плата	$C_{зп}^{дод}$	1700	350	530
Відрахування на соціальні потреби	$C_{зп}^{соц}$	1130	230	360
Сумарна заробітна плата	$З$	14150	2910	4440
Витрати на запасні частини	$З_{зч}$	103580	39660	76380
Витрати на матеріали	$З_{м}$	8220	3490	3610
Витрати на транспортно-заготівельні роботи	$З_{тз}$	8950	3450	6320
Витрати на енергію	$З_{е}$	10880	2210	3630
Витрати на обслуговування і експлуатацію обладнання	$З_{об}$	13930	2870	4370
Витрати на діагностування	$З_{д}$	2500	1630	1630
Витрати на транспортування	$З_{тр}$	500	300	300
Накладні витрати	$З_{нв}$	15510	3190	4870
Втрати від простоїв у ремонті	$d$	53900	23100	28000
Втрати від недовикористання ресурсу деталей	$q$	0	5120	19560
Втрати від додаткових розбирань-складань двигуна	$G$	10640	2070	2450
Разом		256910	90000	160000

Графіки 1, 2 і 3 (див. Рисунки 3.15-3.17) для інтервалу від 0 км до 50 тис. км побудовані за даними експериментальних досліджень, чисельні значення яких наведені в таблиці 3.2.

Для графіка 1 із збільшенням пробігу залишкова вартість двигуна зменшується, а для графіка 2, навпаки, зі збільшенням пробігу витрати зростають. Докладне пояснення такого характеру зміни витрат в залежності від пробігу дано в розділі II.

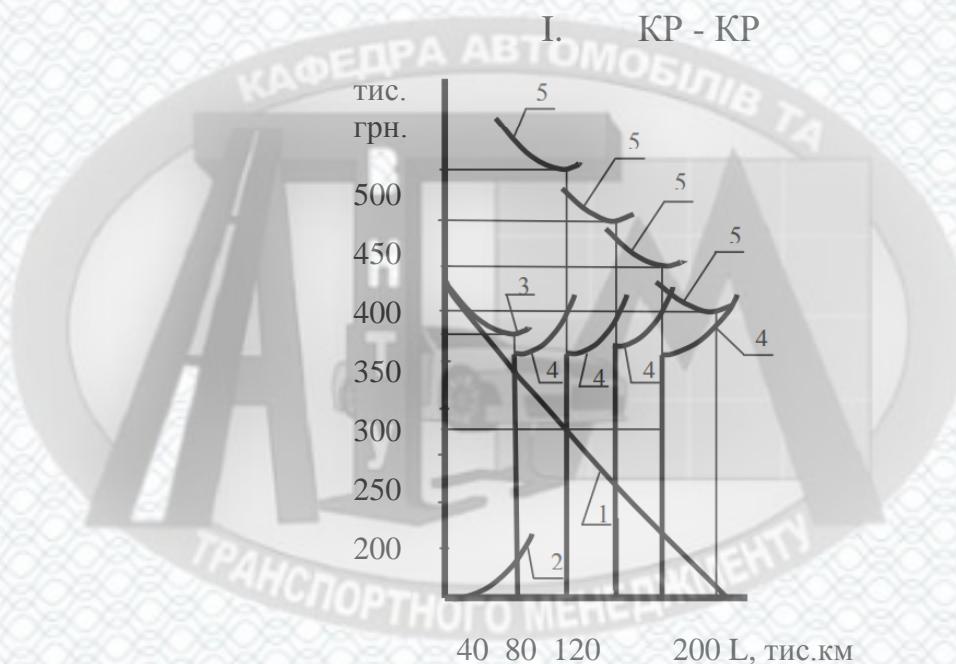


Рисунок 3.15 - Експериментальні дані зміни витрат на підтримання двигуна ЯМЗ-238 в працездатному стані для варіанта КР - КР:

1 - зміна вартості двигуна; 2 - зміна експлуатаційних витрат на ТО і ремонт нового двигуна; 3 - зміна сумарних витрат вартості двигуна і експлуатаційних витрат на ТО і ремонт нового двигуна; 4 - зміна експлуатаційних витрат на ТО і ремонт капітально відремонтованого двигуна; 5 - зміна сумарних витрат вартості двигуна і експлуатаційних витрат на ТО і ремонт капітально відремонтованого двигуна

Що ж стосується графіка 3, то тут витрати спочатку зменшуються, а після досягнення певного мінімального значення, починають рости. Точка мінімального значення сумарних витрат (в нашому прикладі вона дорівнює 284,0 тис. грн.), вказує, що подальша експлуатація двигуна не бажана, так як це призведе до необґрунтованих перевитрат трудових і фінансових витрат. На



пробігові у 45 тис. км, що відповідає мінімальним витратам, доцільно виконати планово - запобіжний ремонт. Для I-го варіанту - повинен виконуватися планово - запобіжний ремонт КР, для II-го і III-го варіантів - планово - запобіжний ремонт ПР1.

## II. ПР1 - КР

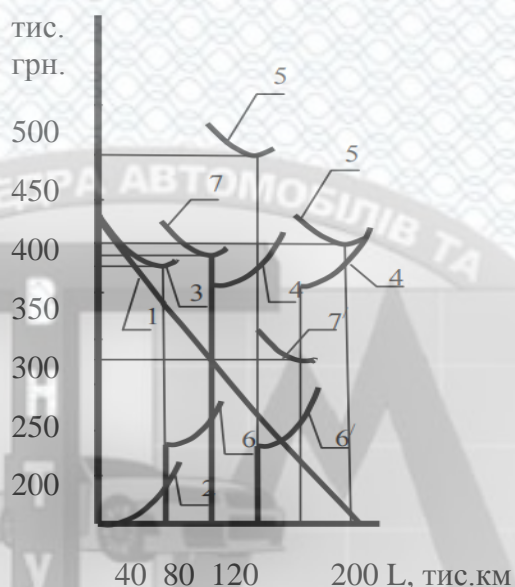


Рисунок 3.16 - Експериментальні дані зміни витрат на підтримання двигуна ЯМЗ-238 в працездатному стані для варіанту ПР1 - КР:

1 - 5 див. Рис. 3.23; 6 - зміна експлуатаційних витрат на ТО і ремонт двигуна після проведення ремонту ПР1; 7 - зміна сумарних витрат вартості двигуна і експлуатаційних витрат на ТО і ремонт двигуна після проведення ремонту ПР1

Графік 4 будується аналогічно графіку 2 з тією лише різницею, що зміщення експлуатаційних витрат по вертикалі буде більше на величину вартості планово - запобіжного ремонту КР, тобто на величину рівну 260,0 тис. грн.

Таблиця 3.2 - Дані експериментальних досліджень для побудови графіків 1, 2 і 3

Пробіг, км (L)	0 - 10	10 - 20	20 - 30	30 - 40	40 - 50
Залишкова вартість двигуна, грн. ( $C_{дв}$ )	321000	298000	278000	257000	238000
Експлуатаційні витрати, грн. (C)	3000	8000	17000	29000	49000
Сумарні витрати, грн. ( $C_{\Sigma}$ )	324000	306000	295000	286000	287000

## III. ПР1 - ПР2 - КР

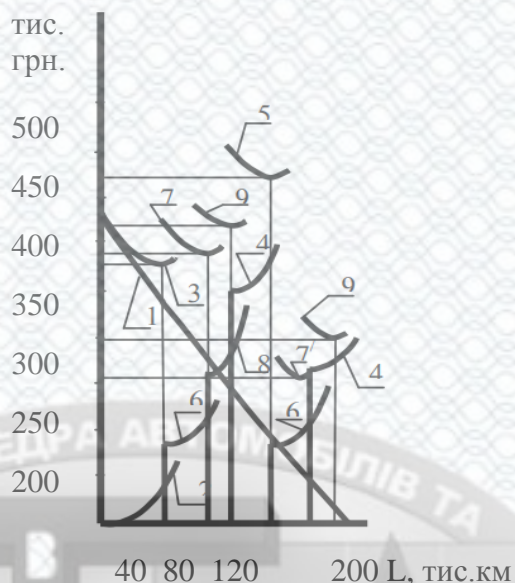


Рисунок 3.17 - Експериментальні дані зміни витрат на підтримання двигуна ЯМЗ-238 в працездатному стані для варіанту ПР1 - ПР2 - КР:

1 - 5 див. Рис. 3.23; 7 - 7 див. Рис. 3.24; 8 - зміна експлуатаційних витрат на ТО і ремонт двигуна після проведення ремонту ПР2; 9 - зміна сумарних витрат вартості двигуна і експлуатаційних витрат на ТО і ремонт двигуна після проведення ремонту ПР2

Графік 5 будується шляхом підсумовування графіків 1 і 4. Результати цього підсумовування наведені в таблицях 3.3 - 3.5.

Таблиця 3.3 - Показники ремонтпридатності двигуна ЯМЗ-238 для варіанта КР - КР - ...

Вид ремонтного впливу	КР	КР	КР	списання	КР
Ресурс до і після ремонтного впливу, тис. км	45	36	36	36	36
Загальний ресурс, тис. км	45	81	117	153	189
Витрати, грн.	284000	476000	416000	351000	312000

$$L_I^{\text{заг}} = 189,0 \text{ тис. км}, C_I^{\text{заг}} = 1839000 \text{ грн.}, C_I^{\text{пит}} = 9730 \text{ грн. / 1000 км}$$

Таблиця 3.4 - Показники ремонтпридатності двигуна ЯМЗ-238 для варіанту ПР1 - КР - ...

Вид ремонтного впливу	ПР1	КР	ПР1	списання	КР
Ресурс до і після ремонтного впливу, тис. км	45	36	36	29	36
Загальний ресурс, тис. км	45	81	117	146	182
Витрати, грн.	284000	299000	416000	182000	310000

$$L_{II}^{\text{заг}} = 182,0 \text{ тис. км, } C_{II}^{\text{заг}} = 1491000 \text{ грн., } C_{II}^{\text{пит}} = 8192 \text{ грн. / 1000 км}$$

Таблиця 3.5 - Показники ремонтпридатності двигуна ЯМЗ-238 для варіанту ПР1 - ПР2 - КР - ...

Вид ремонтного впливу	ПР1	ПР2	КР	ПР1	списання	ПР2
Ресурс до і після ремонтного впливу, тис. км	45	36	19,5	36	29	15,5
Загальний ресурс, тис. км	45	81	100,5	136,5	165,5	181
Витрати, грн.	284000	299000	321000	376000	155000	196000

$$L_{III}^{\text{заг}} = 181,0 \text{ тис. км, } C_{III}^{\text{заг}} = 1631000 \text{ грн., } C_{III}^{\text{пит}} = 9011 \text{ грн. / 1000 км.}$$

Графік 6 будується аналогічно графіку 4, але зміщення експлуатаційних витрат по вертикалі тут вже дорівнює вартості планово - запобіжного ремонту ПР1, рівній 90,0 тис. грн.

Графік 7 будується шляхом підсумовування графіків 1 і 6. Результати підсумовування наведені в таблицях 3.4 і 3.5.

Графік 8 будується також як і графік 4, але зміщення експлуатаційних витрат по вертикалі рівне вже вартості планово - запобіжного ремонту ПР2, рівній 160,0 тис. грн.

Графік 9 будується шляхом підсумовування графіків 1 і 8. Результати підсумовування наведені в таблиці 3.5.

I-й варіант (КР - КР). У карєрній промисловості це традиційна система проведення планово - запобіжних ремонтів для відновлення працездатності двигунів. Характеристика параметрів розподілу ресурсу двигунів ЯМЗ-238 до першого капітального планово - запобіжного ремонту, згідно даних

експериментальних досліджень, наведені в таблиці 3.6. За даними таблиці 3.6 визначено математичне очікування  $l_{cp}$ , дисперсія  $D$ , середнє квадратичне відхилення і коефіцієнт варіації, чисельні значення яких наведені в таблиці 3.7.

Експериментальні та теоретичні криві розподілу ресурсу двигунів цієї групи, наведені на рисунку 3.18 [27].

Таблиця 3.6 - Характеристика параметрів розподілу ресурсу двигунів ЯМЗ-238 до першого капітального планово - запобіжного ремонту для варіанта КР - КР

Характеристика	Позначення	Пробіг L, тис.км					
		35 - 40	40 - 45	45 - 50	50 - 55	55 - 60	всього
1	2	3	4	5	6	7	8
Дослідні частоти	$m_i^*$	3,0	10,0	9,0	2,0	1,0	25,0
Дослідні повторюваності	$p_i^*$	0,12	0,40	0,36	0,08	0,04	1,0
Теоретичні ймовірності	$p_i$	0,108	0,376	0,388	0,116	0,012	1,0
Теоретичні частоти	$m_i$	2,7	9,4	9,7	2,9	0,3	25,0
Накопичена частота	$\Sigma m_i$	2,7	12,1	21,8	24,7	25,0	25,0
Функція розподілу	$F(l)$	0,108	0,484	0,872	0,988	1,0	
Ймовірність безвідмовної роботи	$P(l)$	0,892	0,516	0,128	0,012	0	

Таблиця 3.7 - Чисельні значення характеристик розподілу ресурсу двигунів ЯМЗ-238 до першого капітального планово - запобіжного ремонту

Модель двигуна	Варіанти структури ремонтного циклу	значення показників			
		$l_{cp}$ , тис. км	$D$ , тис. км	$\sigma$ , тис. км	$V$
ЯМЗ240Н	I-й варіант КР - КР - ...	45,0	22,24	5,5	0,122
	II-й варіант ПР1 - КР ...	81,0	26,24	6,1	0,075
	III-й різновид ПР1 - ПР2 - КР - ...	100,5	36,0	7,0	0,07

При проведенні експериментальних досліджень, капітальні ремонтні обслуговування підконтрольної групи двигунів проводилися в міру погіршення їх технічного стану при середніх значеннях пробігів: 45,0 тис. км, 81,0 тис. км, 117,0 тис. км і 153,0 тис. км . Загальний ресурс склав 189,0 тис. км.

Величина міжремонтного пробігу, після проведення планово - запобіжного ремонту КР, склала 36,0 тис. км.

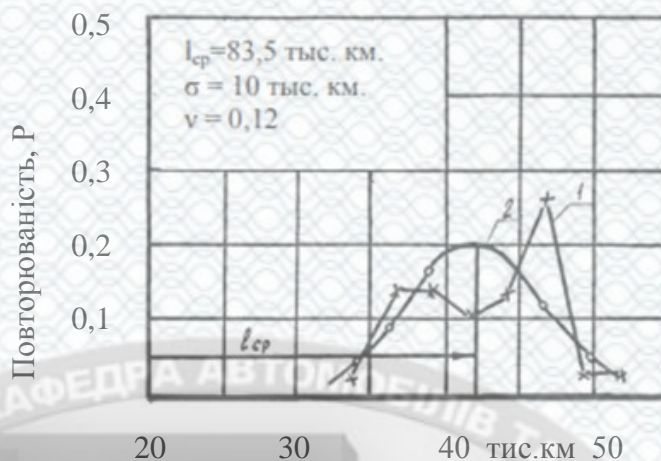


Рисунок 3.18 - Криві розподілу технічного ресурсу двигунів ЯМЗ-238 для варіанта КР - КР:

1 - дослідна повторюваність; 2 - теоретична повторюваність;  $l_{ср}$  - середній ресурс двигуна до ремонту КР

Однак не всі планово - запобіжні ремонті КР для цього варіанту є доцільними. Використовуючи дані графіків, був встановлений економічно доцільний пробіг двигуна до списання, який склав 153,0 тис. км. При цьому була отримана наступна структура планово - запобіжних ремонтів КР - КР. Економічно доцільна структура планово - запобіжних ремонтів за цим варіантом виділена рамкою в таблиці 3.3.

II-й варіант (ПР1 - КР). Характеризується чергуванням планово - запобіжних ремонтів ПР1 і КР. Характеристика розподілу ресурсу двигунів ЯМЗ-238 до першого капітального планово - запобіжного ремонту приведена в таблиці 3.8. За даними таблиці 3.8 визначено  $l_{ср}$ ,  $D$ ,  $\sigma$  і  $\nu$ , чисельні значення яких наведені в таблиці 3.7.

Таблиця 3.8 - Характеристика параметрів розподілу ресурсу двигунів ЯМЗ-238 до першого капітального ремонту для варіанту ПР1 - КР

Характеристика	позначення	Пробіг L, тис. км					
		70 - 75	75 - 80	80 - 85	85 - 90	90 - 95	всього
1	2	3	4	5	6	7	8
Дослідні частоти	$m_i^*$	4,0	9,0	8,0	3,0	1,0	25,0
Дослідні повторюваності	$p_i^*$	0,16	0,36	0,32	0,12	0,04	1,0
Теоретичні ймовірності	$p_i$	0,132	0,348	0,356	0,14	0,024	1,0
Теоретичні частоти	$m_i$	3,3	8,7	8,9	3,5	0,6	25,0
Накопичена частота	$\Sigma m_i$	3,3	12,0	20,9	24,4	25,0	25,0
Функція розподілу	$F(l)$	0,132	0,48	0,836	0,976	1,0	
Імовірність безвідмовної роботи	$P(l)$	0,868	0,52	0,164	0,024	0	

Експериментальні та теоретичні криві розподілу ресурсу двигунів цієї групи після проведення планово - запобіжного ремонту ПР1 наведені на рисунку 3.19 [27], до капітального планово - запобіжного ремонту, на рисунку 3.20.

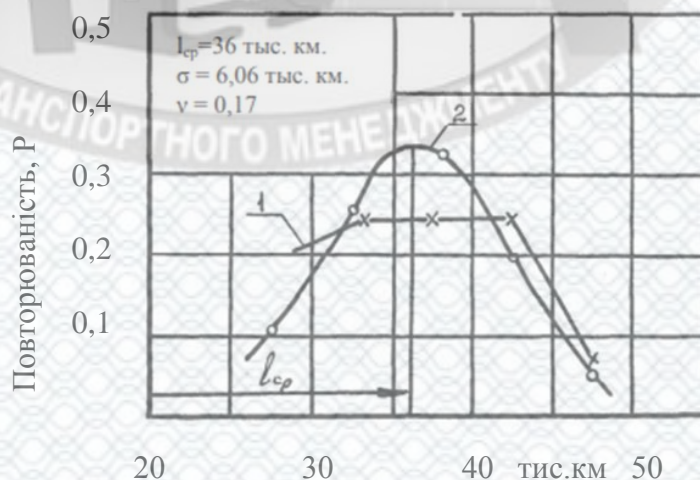


Рисунок 3.19 - Криві розподілу технічного ресурсу двигунів ЯМЗ-238 після проведення ремонту ПР1:

1 – дослідна повторюваність; 2 - теоретична повторюваність;  $l_{cp}$  - середній ресурс двигуна після ремонту КР

За даними експериментальних досліджень, для цієї групи двигунів планово - запобіжні ремонти проводились на наступних пробігах: ПР1 - 45,0 тис. км, КР - 81,0 тис. км, ПР1 - 117, 0 тис. км, КР - 146,0 тис. км. Для цього

варіанту параметри розподілу ресурсу двигунів до планово - запобіжного ремонту ПР1 відповідали параметрам розподілу ресурсу двигунів до першого капітального планово - запобіжного ремонту I-го варіанту.

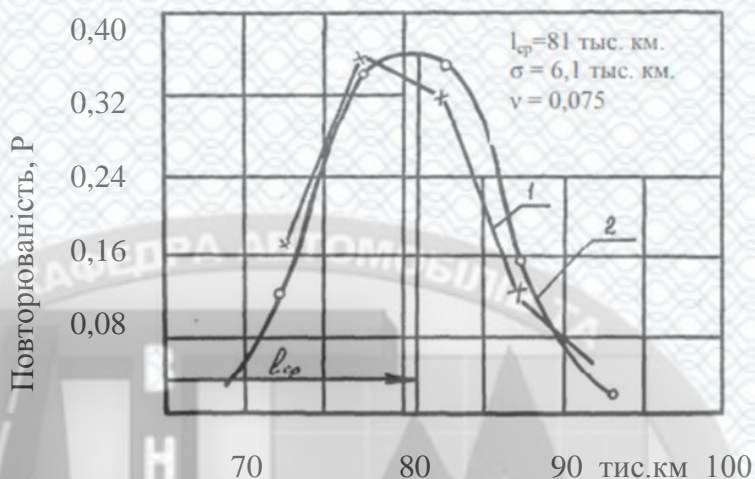


Рисунок 3.20 - Криві розподілу технічного ресурсу двигунів ЯМЗ-238 для варіанту ПР1 - КР:

1 - дослідна повторюваність; 2 - теоретична повторюваність;  $l_{ср}$  - середній ресурс двигуна до ремонту КР

Основні показники ремонтпридатності при реалізації II-го варіанту планово - запобіжного ремонту двигунів за дослідними даними (див. Рисунок 3.31), склали -  $L_{II}^{заг} = 182,0$  тис. км,  $C_{II}^{заг} = 149100$  грн,  $C_{II}^{пит} = 8190$  грн / 1000 км. Економічно доцільний пробіг двигуна до списання для цього варіанту склав 146,0 тис. км. За цим варіантом була отримана наступна структура планово - запобіжного ремонту (виділена рамкою в таблиці 3.4).

III-й варіант (ПР1 - ПР2 - КР). Характеризується чергуванням планово - запобіжних ремонтів ПР1, ПР2 і КР. Характеристика розподілу ресурсу двигунів ЯМЗ-238 до першого капітального планово - запобіжного ремонту приведена в таблиці 3.9. За даними таблиці 3.9 визначені  $l_{ср}$ ,  $D$ ,  $\sigma$  і  $\nu$ , чисельні значення яких наведені в таблиці 3.7.

Експериментальні та теоретичні криві розподілу ресурсу двигунів цієї групи, наведені на рисунку 3.21.

Таблиця 3.9 - Характеристика параметрів розподілу ресурсу двигунів ЯМЗ-238 до першого капітального ремонту для варіанту ПР1 - ПР2 - КР - ...

Характеристика	Позначення	Пробіг L, км						всього
		85-90	90-95	95-100	100-105	105-110	110-115	
Дослідні частоти	$m_i^*$	2,0	1,0	8,0	10,0	2,0	2,0	25,0
Дослідні повторюваності	$r_i^*$	0,08	0,04	0,32	0,40	0,08	0,08	1,0
Теоретичні ймовірності	$r_i$	0,032	0,14	0,292	0,32	0,168	0,048	1,0
Теоретичні частоти	$m_i$	0,8	3,5	7,3	8,0	4,2	1,2	25,0
Накопичена частота	$\Sigma m_i$	0,8	4,3	11,6	19,6	23,8	25,0	25,0
Функція розподілу	F (l)	0,032	0,172	0,464	0,784	0,952	1,0	
Ймовірність безвідмовної роботи	P (l)	0,968	0,828	0,536	0,216	0,048	0	

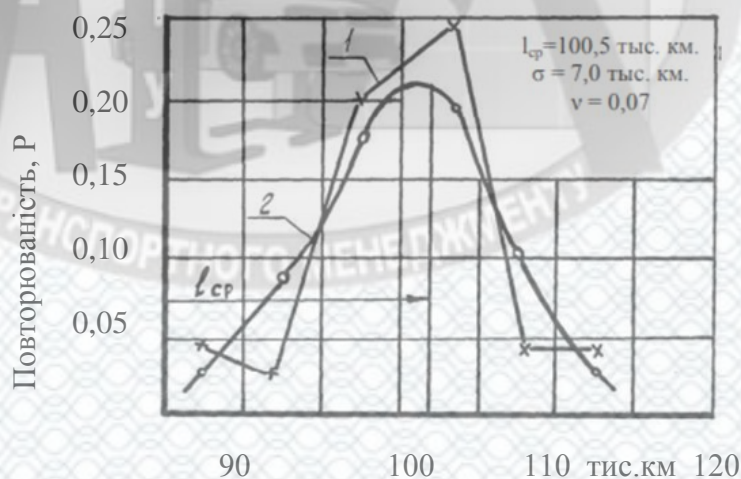


Рисунок 3.21 - Криві розподілу технічного ресурсу двигунів ЯМЗ-238 для варіанту ПР1 - ПР2 - КР:

1 – дослідна повторюваність; 2 - теоретична повторюваність;  $l_{ср}$  - середній ресурс двигуна до ремонту КР

За даними експериментальних досліджень для цієї групи двигунів планово - запобіжні ремонти проводились на наступних пробігах: ПР1 - 45,0 тис. км, ПР2 - 81,0 тис. км, КР - 100,5 тис. км, ПР1 - 136,50 тис. км, ПР2 - 165,5 тис. км. Параметри розподілу ресурсу двигунів до планово - запобіжного



ремонту ПР2 відповідали параметрам розподілу ресурсу двигунів до першого капітального планово - запобіжного ремонту II-го варіанту.

Основні показники ремонтпридатності при реалізації III-го варіанту планово - запобіжного ремонту двигунів склали -  $L_{II}^{зар} = 181,0$  тис. км,  $C_{II}^{зар} = 163100$  грн,  $C_{II}^{пит} = 9010$  грн / 1000 км. Економічно доцільний пробіг двигуна до списання для цього варіанту склав 165,5 тис. км. При цьому була отримана наступна структура планово - запобіжних ремонтів - ПР1 - ПР2 - КР - ПР1. Економічно доцільна структура планово - запобіжних ремонтів за цим варіантом виділена рамкою в таблиці 3.5.

### 3.4 Висновки до третього розділу

1. Всебічно і глибоко вивчені дефекти, знос і відмови основних деталей двигуна ЯМЗ-238 при їх надходженні в перший планово - запобіжний ремонт. Експериментально отримані середні значення ресурсу основних деталей двигуна до відмови.

2. Експериментальні дослідження показали, що ресурс основних деталей коливається в широких межах і не дотримується їх кратність. Так, наприклад, у двигунів ЯМЗ-238 коефіцієнт відносної довговічності основних деталей (відношення ресурсу і-ї деталі до ресурсу базової деталі) коливається від 0,53 до 1,0 і більше, що призводить до ранньої постановки їх на планово - запобіжний ремонт.

3. Встановлено, що найменше значення питомих витрат на 1000 км пробігу для двигуна ЯМЗ-238 у варіанту ПР1 - КР - ПР1. Ресурс до планово - запобіжного ремонту КР при цьому варіанті становить 81,0 тис. км, що значно вище, ніж для I-го варіанту. Це дозволяє помітно (майже в три рази) скоротити загальну кількість планово - запобіжних ремонтів.

4. Деталі, що підлягають відновленню, повинні піддаватися ремонтним впливам за відповідними маршрутами.

## РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

### 4.1 Аналіз умов праці

У приміщенні, де виконувалась робота по покращенню паливної економічності вантажних автомобілів відповідно до ГОСТ 12.0.003-74 виникають наступні шкідливі та небезпечні фактори:

- фізичні, підвищена напруга в електричній мережі, замикання якої може пройти через тіло людини, недостатня освітленість, недостатня природня освітленість;
- хімічні, загально токсичні;
- психологічні, фізичні перевантаження (статичні), нервово-психічні перевантаження (викликаються монотонністю праці);
- біологічні, хвороботворні мікроорганізми та бактерії.

### 4.2 Організаційно-технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії

Для усунення шкідливої дії небезпечних факторів при проведенні технологічного процесу і створення в робочій зоні здорового повітряного середовища необхідно:

- зону розміщувати на першому поверсі;
- площа не зайнята обладнанням, повинна бути не менше 10 м<sup>2</sup>, висота приміщення від рівня підлоги до стелі не менше 3,5м;
- підлога повинна бути незгораєма з малою теплопровідністю, стійкою до механічних та хімічних дій, не слизькою;

Площа виробничого приміщення на одного робітника повинна бути не менше 4,5м<sup>2</sup>.

#### 4.2.1 Мікроклімат

Мікроклімат виробничих приміщень залежить від швидкості руху повітря на ділянці та його прискорення. Зона відноситься до приміщень з незначними надлишками явного тепла  $20 \text{ ккал/м}^3 \text{ год.}$  і менше. Отже, категорія робіт II б. робоче місце постійне. Оптимальні та допустимі значення мікроклімату наведені в табл. 4.1

Таблиця 4.1- Оптимальні та допустимі значення мікроклімату

Період року	Категорія робіт	Температура		Вологість		Шв. руху повітря	
		Оптималь.	допуст.	Оптималь.	допуст.	Оптималь.	допуст.
Холодний	II б	15-19	15-21	60-75	75	0,2-0,4	0,4
Теплий	II б	20,25	16-27	60-75	70	0,2-0,4	0,2-0,5

Концентрація шкідливих речовин в повітрі робочої зони ТО і ПР приведена в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2- Концентрація шкідливих речовин в повітрі робочої зони ТО і ПР

Концентрація шкідливих речовин $\text{мг/м}^3$		
Оксид азоту	Озон	Тверда фаза
$2,74 \pm 0,18$	$0,76 \pm 0,026$	0,7

Гранична допустимі концентрації шкідливих газів, парів та пилу в повітрі робочих зон приведені в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 - Гранична допустимі концентрації шкідливих газів, парів та пилу в повітрі робочих зон

Забруднюючі речовини	Концентрація		
	Допустимі	Неблагоприятні	Недопустимі
Вуглеводні, $\text{мг/л}$	-	0,1-0,3	більше 0,3
Аерозолі, $\text{мг/м}^3$	900,3	0,2-0,3	більше 0,3
Пил, $\text{мг/м}^3$	905	5-10	більше 10
$\text{CO}_2$ , %	до 0,17	0,17-10	більше 10
$\text{CO}$ , $\text{мг/л}$	0,02	0,02-0,03	0,03

При роботах виникає ряд шкідливих факторів: інтенсивний високочастотний шум, високодисперсний аерозоль металів, токсичні гази, ультрафіолетова та інфрачервона радіація.

В доповнення до місцевої вентиляції повинна бути встановлена загальнообмінна вентиляція, що забезпечує рівномірне розподілення повітря по всьому приміщенню зі швидкістю не більше 0,3м/с.

#### 4.2.2. Освітлення

У зоні діагностики необхідно передбачити природне (бокове двохстороннє) та штучне освітлення. Приміщення дільниці за задачами зорової роботи відноситься до IV групи приміщень. При боковому освітленні коефіцієнт природного освітлення повинен бути не менше 1,5%. Штучне освітлення повинно складати 400-500 лк. Нормовані значення кількісних показників освітлення відповідно до ДСТУ EN 12464-1:2016 наведені в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Значення кількісних показників освітлення.

Характер зорової роботи	Найменший розмір об'єкта розрізнення	Розряд зорової роботи	Контраст об'єкта розрізнення	Характеристика фону	Штучне освітлення	Періодне освітлення
					Лк	КЕО,% Бічне
Тонка робота	0,5-1	IVo	Великий	Світлий	500	1,5

Штучне освітлення проводиться світильниками з лампами розжарення. Вони забезпечують усунення сліпучої дії джерела світла. Освітленість проходів в виробничому приміщенні повинна складати – 75 Лк. Світильники місцевого освітлення живляться від мережі напругою 36 В, загального 220 В. Всі світильники повинні мати заземлення і бути герметичними по ступені захисту IP65.

### 4.2.3 Шум

В зв'язку з значним шумом який виникає від роботи обладнання, шуму з сусідніх приміщень та шуму автотранспорту, зону необхідно розміщувати в ізольованому приміщенні. При розміщенні зони в цеху в окремій кабіні стіни необхідно облицьовувати звуопоглинаючими матеріалами з коефіцієнтом звукопоглинання не нижче 0,7. Для захисту органів слуху від шуму необхідно застосовувати антифони.

Допустимі рівні шуму нормуються у ДСТУ 2867-94. Для постійних робочих місць у приміщеннях допустимі рівні звукового тиску наведені таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 – Нормативні рівні звукового тиску

Робочі місця	Рівні звукового тиску в дБ у октавних смугах із середньгеометричними частинами Гц									Еквівалентний рівень звуку дБ (А)
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
постійні	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80

### 4.2.4. Вібрації

Джерелами вібрації являються автомобілі, які рухаються по зоні, працюючі ДВЗ та інші агрегати автомобілів, компресори, вентиляційні системи та ін. На робітників може діяти локальна і загальна вібрація. Локальна передається через руки, загальна через підощви ніг. Загальна вібрація категорії “а”, критерій оцінки – границя зниження продуктивності.

Допустимі значення вібрацій вказані в таблиці 4.6.

Основні заходи щодо захисту людини від шкідливої дії вібрації у виробничих умовах можна бути поділити на технічні, організаційні і лікувально-профілактичні, а також колективні та індивідуальні. До технічних заходів належать: - зниження вібрації в джерелі її виникнення (вибір на стадії проектування кінематичних і технологічних схем, які знижують динамічні навантаження в устаткуванні та ін.); - зниження діючої вібрації на шляху

розповсюдження від джерела виникнення (вібропоглинання, віброгасіння, віброізоляція).

Таблиця 4.6 – Допустимі значення вібрацій

Вид вібрації	Категорія вібрації	Напрямок дії	Значення	Нормативні коректовані по частоті та еквівалентні коректовані значення			
				Віброприскорення		Віброшвидкість	
				$a_n, \text{м/с}^2$	$L_{ан}, \text{дБ}$	$V_n 10^{-2} \text{м/с}$	$L_{Vn}, \text{дБ}$
Локальна	-	$X_d, Y_d, Z_d$	Нормативне	2,0	126	2,0	112
Загальна	3 тип "а"	$X_0, Y_0, Z_0$	Нормативне	0,10	100	0,20	92

До організаційних заходів належать: - організаційно-технічні (своєчасний ремонт та обслуговування обладнання за технологічним регламентом, контроль допустимих рівнів вібрації, дистанційне керування вібронебезпечним обладнанням); - організаційно-режимні (забезпечення відповідного режиму праці та відпочинку, заборону залучення до вібраційних робіт осіб молодших 18 років, тощо); До лікувально-профілактичних заходів належать: - періодичні медичні огляди; - лікувальні процедури (фізіологічні процедури, вітамінно- та фітотерапія).

#### 4.3 Організаційно-технічні рішення щодо забезпечення безпечної роботи

До робіт допускаються особи не молодші 18 років, які пройшли медичне освідчення та спеціальне навчання і мають посвідчення на право виконання вказаних робіт та групу по електробезпеці не нижчу за другу.

Конструкція устаткування і його окремих частин повинна виключати можливість їх падіння, опускання, перекидання та довільного зміщення при всіх передбачених умовах експлуатації.

Усі контрольно-вимірювальні прилади необхідно утримувати у справному стані, періодично перевіряти. Забороняється використовувати прилади з простроченим терміном перевірки.

#### 4.3.1. Електробезпека

Електробезпека забезпечується конструкцією електроустановок, організаційними, технічними способами та засобами захисту.

Приміщення відноситься до класу приміщення підвищеної електробезпеки, так як на ділянці є струмопровідні заземлені частини обладнання які можуть проводити струм. Для попередження ураження електричним струмом все обладнання повинно бути заземлене. Стан заземлення перевіряють не рідше одного разу в квартал.

#### 4.4 Пожежна безпека

Зона діагностики відноситься до категорії Г-за пожежною небезпекою.

За ступенем вогнестійкості будівля відноситься до групи II.

Внаслідок не виконання електротехнічних правил, а також під впливом навколишнього середовища (вогкості, пилу, хімічних активних речовин) нормальний стан електроосвітлювальних установок порушується. В таких випадках в електричних колах виникають короткі замикання, перевантаження, перехідні опори, електрична дуга або іскріння, а також шкідливі вихрові струми. Основні шляхи зниження пожежної небезпеки під час експлуатації електроосвітлення такі: вибір електроосвітлювальних установок з такими розрахунками щоб вони не стали джерелом займання того середовища, в якому експлуатуються.

Щоб запобігти іскровим розрядом статичної електрики, вживають таких технічних заходів: технологічний процес розробляють так, щоб усунути причини виникнення зарядів статичної електрики: старанно заземлюють усі машини, трансмісії і ті елементи на яких можуть утворюватися електричні заряди.

Для захисту від прямих ударів блискавки влаштовують блискавковідводи, що складаються з блискавкоприймача, струмовідводу та заземлюючих пристроїв. При ударі блискавки розряд атмосферної електрики проходить крізь блискавкопровід, обминаючи захищений об'єкт.

Щоб ліквідувати горіння треба :

- а) припинити виділення тілом що горить, горючих газів і парів ізолювавши їх середовищем, яке не підтримує горіння;
- б) охолодити це тіло нижче температури його спалаху або займання;
- в) видалити горючі тіла (речовини).

Зона повинна бути обладнана системою пожежного водопостачання.

Допустимі відстані від найвіддаленіших робочих місць до виходів назовні в залежності від категорії виробництв і ступені вогнестійкості приміщення-60 м (II ступінь вогнестійкості).

Необхідна сумарна ширина дверей або проходів на шляхах евакуації повинна бути забезпечена з розрахунку не менше 125 чол. на їм ширина для одноповерхових будівель. Ширина коридорів у виробничих та допоміжних приміщеннях має бути не менше 1,4 м, а ширина дверей - не менше 0,8 м.

#### 4.5 Безпека в надзвичайних ситуаціях

##### 4.5.1 Розробка та розрахунок пункту спеціальної обробки (ПуСО)

Для зниження можливих доз опромінення при ліквідації наслідків у зонах забруднення проводиться дезактивація території, будинків і споруджень, устаткування, техніки й інших об'єктів, виконуються заходи щодо усунення пилу. Пункти спеціальної обробки (ПуСО) створюються на межах зон забруднення; люди і транспорт, що відбувають із зон забруднення, на них проходять дозиметричний контроль. При виявленні забруднення вище припустимих рівнів люди проходять санітарну обробку, транспорт – дезактивацію.

Техніка і майно, що вивозяться із забрудненої території, дезактивуються на спеціальних майданчиках, які обладнуються біля ПуСО.

Для проведення дезактивації використовується вода. Разом з водою застосовуються спеціальні препарати, що підвищують ефективність змивання радіоактивних речовин. Це поверхнево-активні і комплексоутворюючі речовини,



кислоти, луги. До перших відносять порошок СФ-2 і препарати ОП-7 і ОП-10; до других - фосфати натрію, трилон - Б, Лужна і лимонна кислоти, солі цих кислот.

Для одержання розчину порошок додають у воду невеликими порціями при постійному перемішуванні. Дезактивацію транспортних засобів і техніки проводять із застосуванням 0,15 %-го розчину СФ-2 у воді (улітку) чи аміачній воді, що містить 20 - 24% аміаку. Препарат ОП-7 і ОП-10 застосовують як складову частину дезактивуючих розчинів, призначених для дезактивації поверхонь будинків споряджень і устаткування.

Дезактивація транспортних засобів і техніки проводиться при їхньому зараженні 200 мР/год і більше. Дезактивація проводиться змиванням струменем води під тиском 2-3 атм. чи обробкою дезактивуючими розчинами, протиранням ганчіркою змоченою в бензині, гасі, дизельному паливі, а також обробкою газокрапельним потоком.

#### 4.6 Способи дезактивації техніки і транспорту

До основних способів відносять:

- змивання радіоактивних речовин розчинами для дезактивації, водою і розчинниками з одночасною обробкою зараженої поверхні щітками дегазаційних машин і приборів дозволяє знизити зараженість у 50-80 разів;
- змивання радіоактивних речовин струменем води під тиском дозволяє знизити зараженість в 20 разів;
- видалення радіоактивних речовин переривистим газо-крапельним потоком з використанням спеціальної техніки з турбореактивними двигунами;
- видалення радіоактивних речовин обтиранням заражених поверхонь тампонами з ганчірок, змоченими розчинами для дезактивації, водою або розчинниками; використовується в основному для внутрішніх поверхонь;
- замітання (змивання) радіоактивного пилу віниками, щітками, мотлохом та іншими підручними засобами; використовується в основному при проведенні часткової дезактивації;

- видалення радіоактивного пилю методом відсмоктування пилю, здійснюється за допомогою спеціальних комплектів (ДК 4).

При частковій дегазації і дезінфекції з використанням дегазаційних комплектів насамперед обробляються ті частини і поверхні техніки та транспорту, з якими необхідний контакт при виконанні роботи (поставленої задачі).

Повна дегазація складається з повного знезаражування або видалення зі всієї поверхні техніки і транспорту отруйних речовин шляхом протирання заражених поверхонь розчинами для дегазації; при їх відсутності можуть бути використані розчинники і розчини для дезактивації.

Повна дезінфекція виконується тими самими способами, що і дегазація, але тільки з використанням активних розчинів для дегазації і дезінфекції.

Якщо можливо, то доцільно провадити відразу повну, а не часткову дезактивацію, дегазацію і дезінфекцію техніки та транспорту.

Засоби знезаражування техніки і транспорту:

- авторозливальна станція АРС- 12У, комплекти ДК-4, ІДК-1, ДК-3;
- комунальна, сільськогосподарська, дорожня і будівельна техніка, що придатна для використання при виконанні робіт зі знезаражування.

#### 4.7 Висновки до четвертого розділу

В даному розділі розглядаються умови праці при підвищенні ефективності ремонту двигунів автомобілів товариства з обмеженою відповідальністю «Гніванський гранітний кар'єр» шляхом запровадження планово-запобіжного ремонту.

Проведений аналіз умов праці, розроблені заходи виробничої санітарії.

Визначено основні заходи з техніки безпеки, протипожежні заходи та електробезпека.

Також проведено розробку характеристик пункту спеціальної обробки автотранспорту. Розглянуті способи дезактивації техніки і транспорту.

## РОЗДІЛ 5 ВИБІР ОПТИМАЛЬНОЇ СТРУКТУРИ ПЛАНОВО-ЗАПОБІЖНИХ РЕМОНТІВ ДЛЯ ДВИГУНІВ ЯМЗ-238

5.1 Уточнення складу груп деталей двигунів автомобілів, для одночасної їх заміни

Відомо, що двигун складається з деталей з різними значеннями ресурсів, які коливаються від  $l_1$  до  $l_m$  (див. Рисунок 5.1).

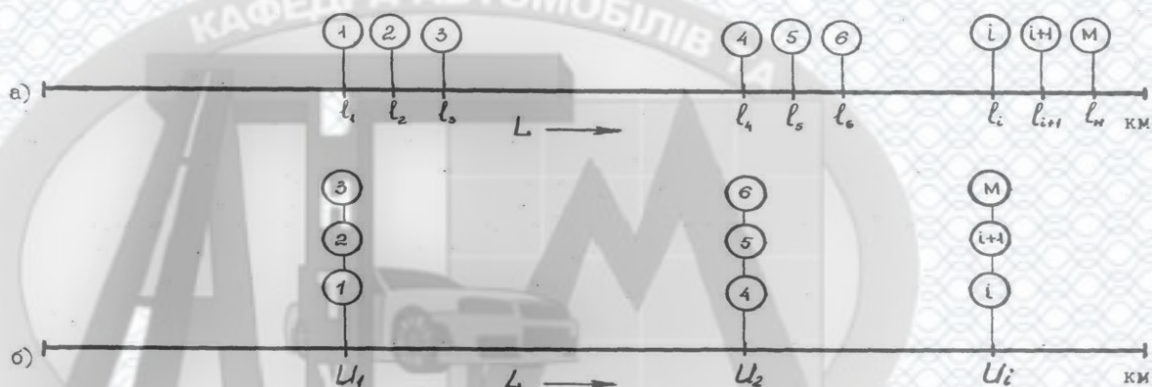


Рисунок 5.1 - Схема об'єднання елементів в групи для одночасної їх заміни при проведенні планово-запобіжних ремонтів:

а - необхідна періодичність заміни по ресурсу; б - регламентована періодичність заміни;  
 1, 2, ..., м - деталі, що лімітують ресурс двигуна до планово - запобіжного ремонту;  $l_1, l_2, \dots, l_m$  - ресурс основних деталей двигуна;  $U_1, U_2, \dots, U_i$  - ресурс двигуна до заміни  $i$ -ї групи деталей

Якщо повністю реалізувати ресурс кожної деталі двигуна, то треба проводити значну кількість планово-запобіжних ремонтів (після пробігів  $l_1, l_2, \dots, l_m$ ) з незначним обсягом робіт кожного. Після заміни кожної зношеної деталі окремо довелось б проводити одні й ті ж операції, такі як демонтаж двигуна з автомобіля, розбирання - складання двигуна і т. д. Багаторазова постановка двигуна в планово - запобіжний ремонт збільшує не тільки сумарну тривалість простоїв, пов'язаних з ремонтом, але і збільшує загальну трудомісткість і вартість планово - запобіжного ремонту.

Розглянемо групування деталей двигуна для одночасного їх заміни. Для цього, розташуємо значення ресурсів деталей на координатній прямій і будемо порівнювати їх значення з ресурсом менш довговічною деталі. Якщо різниця ресурсів буде менша мінімально допустимого міжремонтного ресурсу  $L_{min}$ , то об'єднання доцільне, а якщо різниця більше  $L_{min}$ , то їх одночасна заміна недоцільна, тобто

$$l_{i+1} + l_i \leq L_{min} \cdot \quad (5.1)$$

об'єднання доцільно, а якщо

$$l_{i+1} - l_i > L_{min} \cdot \quad (5.2)$$

то одночасна заміна недоцільна.

Нехай  $l_1$ , буде ресурс найменш довговічною деталі. Порівнюємо значення ресурсів деталі 2 -  $l_2$  і деталі 1 -  $l_1$ . якщо  $l_2 - l_1 \leq L_{min}$ , То деталь 2 з ресурсом  $l_2$  замінюється з деталлю 1 одночасно. Таким же чином порівнюються ресурси деталей 3, 4 і т. д. з ресурсом деталі 1. В остаточному підсумку, отримуємо групу деталей для одночасної заміни з ресурсом  $U_1$ , як показано на рисунку 5.1б. Припустимо, порівнюючи ресурс деталі 4 з ресурсом деталі 1 отримуємо  $l_4 - l_1 > L_{min}$ . В цьому випадку, одночасна заміна деталі 4 з деталлю 1 недоцільна. І тоді деталь 4 буде найменш довговічною деталлю для наступної групи одночасно замінних деталей, тобто центром групування для деталей з більш високим ресурсом в порівнянні з ресурсом першої групи  $U_1$ . Потім цикл повторюється - порівнюються ресурси деталей 5, 6 і т. д. зі значенням ресурсу деталі 4 -  $l_4$ . В результаті отримуємо другу групу деталей для одночасної заміни з ресурсом  $U_2$ .

При групуванні деталей, для одночасної їх заміни, були використані експериментальні дані отриманих середніх значень ресурсу основних деталей двигуна ЯМЗ-238, які наведені на рисунку 5.2. Зазначені дані свідчать, що

ресурси основних деталей коливаються в широких межах: від 45,0 тис. км до 88,5 тис. км.

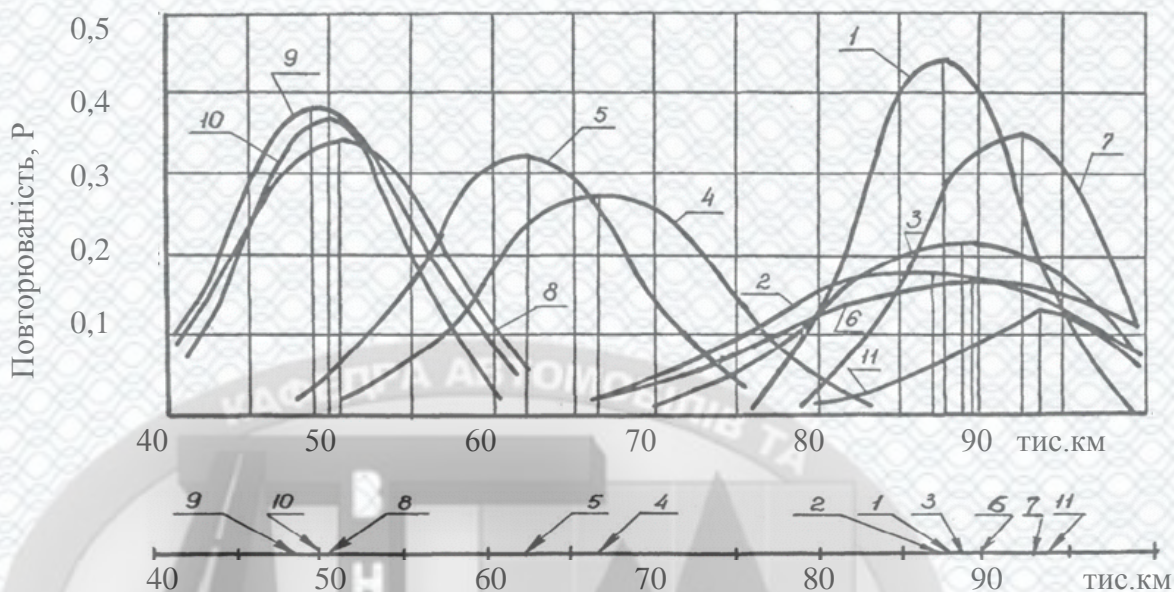


Рисунок 5.2 - Характеристика розподілу відмов і середніх значень ресурсів основних деталей двигуна ЯМЗ-238:

- 1 - блок циліндрів; 2 - головка циліндрів; 3 - клапана; 4 - вал колінчастий;  
 5 - вкладиші шатунні; 6 - шатун; 7 - вал розподільний; 8 - поршень; 9 - гільза циліндрів;  
 10 - кільця поршневі; 11 - палець поршневий

При розрахунках, величина мінімально допустимого міжремонтного ресурсу -  $L_{\min}$  визначена з урахуванням 90% ймовірності того, що ресурс всіх підконтрольних двигунів потрапить в певний заданий інтервал [8]. За даними експериментальних досліджень встановлено, що середній ресурс двигуна після капітального планово - запобіжного ремонту склав 36,0 тис. км. При цих значеннях середній ресурс двигуна,  $L_{\min}$  склав 20,0 тис. км.

Розглянемо на прикладі двигуна ЯМЗ-238 доцільність групування деталей для їх одночасної заміни по окремих етапах:

1. Згідно з експериментальними даними, у гільз циліндрів середній ресурс дорівнює 45,0 тис. км, ресурс поршневих кілець - 45,0 тис. км, ресурс поршнів 45,5 тис. км. Оскільки ресурси поршнів і поршневих кілець незначно

відрізняються від ресурсу гільз циліндрів, одночасна їх заміна на пробігу 45,0 тис. км очевидна і доцільна.

2. Для визначення доцільності одночасної заміни основних деталей спільно з гільзою циліндрів, здійснюємо перевірку на виконання умов 5.1 і 5.2. За результатами перевірки встановлено, що шатунні вкладиші і колінчастий вал доцільно об'єднати з гільзою циліндрів для одночасної їх заміни, оскільки різниця їх ресурсів не перевищує 20,0 тис. км. Що ж стосується головок циліндрів і інших деталей, з більш значним ресурсом, їх заміна одночасно з гільзою циліндрів недоцільна, так як різниця їх ресурсів перевищує 20,0 тис. км. Отже, на пробігу 45,0 тис. км доцільна одночасна заміна гільз циліндрів, поршневих кілець, поршнів, шатунних вкладишів і колінчастого вала. Головка циліндрів, ресурс якої дорівнює 82,0 тис. км, буде базою об'єднання наступної групи деталей для їх одночасної заміни.

3. За результатами експериментальних досліджень ресурс деталей після їх заміни склав: для гільз циліндрів, поршневих кілець, поршнів - 36,0 тис. км, шатунних вкладишів - 45,6 тис. км, колінчастого вала - 49,2 тис. км. Повторну заміну гільз циліндрів, поршневих кілець і поршнів планується проводити на пробігові 81,0 тис. км ( $45,0 + 36,0 = 81,0$  тис. км), що незначно відрізняється від ресурсу головки циліндрів, рівного 82,0 тис. км. Отже, базою групування наступної групи деталей приймається ресурс двигуна, рівний 81,0 тис. км.

4. Для другої групи деталей, на підставі обмеження 5.1 і 5.2 встановлено, що головки циліндрів, шатуни, розподільний вал, поршневі пальці, а також повторна заміна деталей циліндро - поршневої групи, шатунних вкладишів і колінчастого вала доцільно об'єднати для одночасної їх заміни, так як різниця ресурсів ( $l_{i+1} - l_i$ ) цих деталей менше 20,0 тис. км.

На рисунку 5.3 представлені результати формування груп деталей для їх одночасної заміни: суцільними лініями показані доцільні поєднання, пунктирними - недоцільні.

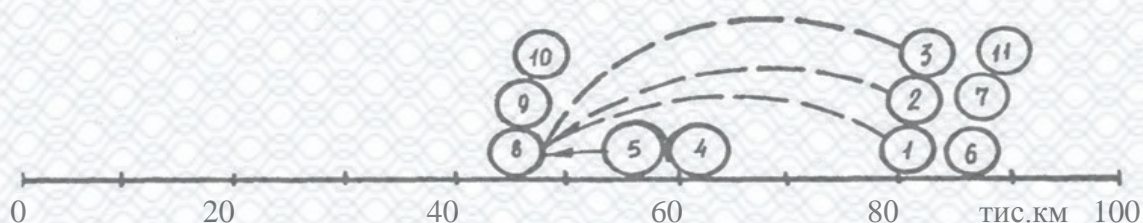


Рисунок 5.3 - Формування в групі основних деталей двигуна ЯМЗ-238 для одночасної їх заміни:

1 - блок циліндрів; 2 - головка циліндрів; 3 - клапана; 4 - вал колінчастий; 5 - вкладиші шатунні; 6 - шатун; 7 - вал розподільний; 8 - поршень; 9 - гільза циліндрів; 10 - кільця поршневі; 11 - палець поршневий;  $\dashrightarrow$  - недоцільне групування;  $\rightarrow$  - доцільне групування

В результаті групування встановлено [27] дві групи деталей для їх одночасної заміни: група менш довговічних деталей замінюється на пробігові 45,0 тис. км і група більш довговічних деталей замінюється на пробігу 81,0 тис. км. Трудомісткість робіт і вартість заміни перерахованих вище деталей близькі за своїм змістом до ремонту ПР1 і ПР2.

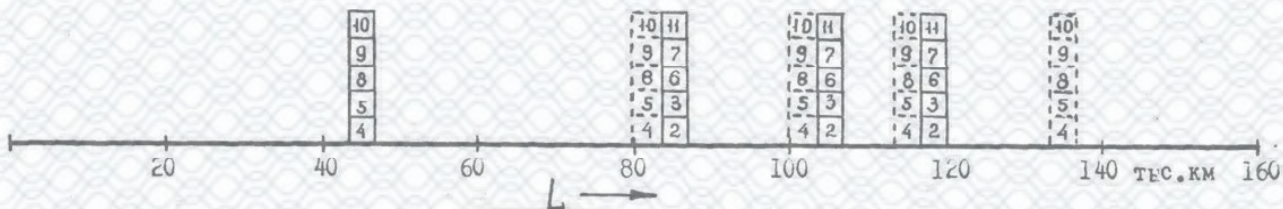
Якщо застосувати результати групування деталей до розглянутих варіантів, то отримаємо наступне.

За першим варіантом (КР - КР), для відновлення працездатності двигуна, планово - запобіжний ремонт проводиться на пробігах 45,0 тис. км, 81,0 тис. км і 117,0 тис. км. Економічно доцільна структура ремонтного циклу склала - КР - КР - КР. При такому обмеженні кількості планово - запобіжних ремонтів за амортизаційний термін служби двигуна, їх ресурс становитиме 80% від нормативу рівного 190,0 тис. км [21].

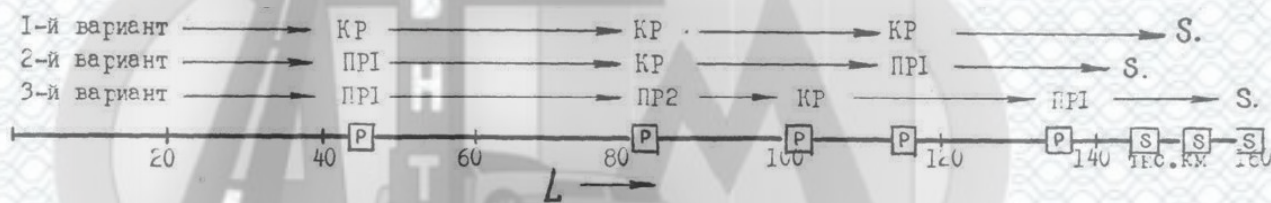
За другим варіантом (ПР1 - КР), для двигунів ЯМЗ-238 планово - запобіжний ремонт повинен виконуватися на пробігах: ПР1 - після 45,0 тис. км, КР - після 81,0 тис. км, ПР1 - після 117,0 тис. км. Структура ремонтного циклу наведена на рисунку 5.4 [28], яка виглядає наступним чином: ПР1 - КР - ПР1. При цьому виконується тільки один планово - запобіжний ремонт при

загальному пробігу за термін служби 146,0 тис. км, що становить 77% від нормативу. Фактично пробіг двигуна до списання для підприємств становить в середньому 120,0 тис. км [28].

а) Оптимальне групування деталей з урахуванням їх повторної заміни



б) Варіанти ремонту і їх періодичність



в) Оптимальна структура і періодичність ремонту двигуна



Рисунок 5.4 - Формування структури і періодичності планово - запобіжного ремонту двигунів ЯМЗ-238:

1 - блок циліндрів; 2 - головка циліндрів; 3 - клапана; 4 - вал колінчастий, 5 - вкладиші шатунні; 6 - шатун; 7 - вал розподільний; 8 - поршень; 9 - гільза циліндрів; 10 - кільця поршневі; 11 - палець поршневі; P - ремонтний вплив; ПР1 - попереджувальний ремонт № 1; ПР2 - попереджувальний ремонт № 2; S - списання двигуна;  $\begin{matrix} 10 \\ 9 \\ 8 \\ 7 \\ 6 \\ 5 \\ 4 \end{matrix}$  - повторна заміна деталей

За третім варіантом (ПР1 - ПР2 - КР), для двигунів ЯМЗ-238 планово - запобіжні ремонти планується виконувати на пробігах: ПР1 - 45,0 тис. км, ПР2 - 81,0 тис. км, КР - 100,5 тис. км, ПР1 - 136,5 тис. км. Структура ремонтного циклу для цього варіанту - ПР1 - ПР2 - КР - ПР1. За цим варіантом виконується тільки один планово - запобіжний ремонт за повний термін служби двигуна і його ресурс складає 87% від нормативу.



Для визначення оптимального варіанту структури планово - запобіжного ремонту двигунів, з числа розглянутих, необхідно порівняти їх з основними показниками ремонтпридатності в межах економічно доцільного терміну служби.

## 5.2 Визначення оптимального варіанта структури планово - запобіжного ремонту двигунів ЯМЗ-238

У розділі II розглянуті теоретичні положення щодо вибору оптимальної структури та періодичності планово - запобіжних ремонтів, а в розділі III експериментально визначені основні показники ремонтпридатності двигунів по кожному з розглянутих варіантів. Визначення оптимальної структури та періодичності планово - запобіжних ремонтів, на прикладі двигунів ЯМЗ-238 з використанням раніше розроблених математичної моделі і алгоритму, розглянемо в наступній послідовності.

Використовуючи дані результатів експериментальних досліджень і алгоритм, в основу якого покладена схема Жордана без зворотного ходу, були визначені коефіцієнти регресії рівнянь, що описують криві 1, 2, 4, 6, 6', 8 і 8' представлені на рисунках 3.30-3.32. Чисельні значення коефіцієнтів регресії рівнянь наведені в таблиці 5.1, а самі рівняння наведені нижче:

графік 1:

$$Y_1 = 343400 - 3224,9 \cdot X + 24509,2 \cdot 10^{-3} \cdot X^2 - 14915,4 \cdot 10^{-5} \cdot X^3 + 3232,4 \cdot 10^{-7} \cdot X^4;$$

графік 2:

$$Y_2 = 108,5 \cdot X + 10,4 \cdot X^2 + 684,4 \cdot 10^{-3} \cdot X^3 - 2700 \cdot 10^{-5} \cdot X^4 + 3200 \cdot 10^{-7} \cdot X^5;$$

графік 4:

$$Y_4 = 260000 - 979 \cdot X + 156 \cdot X^2 - 5,2 \cdot X^3 + 67200 \cdot 10^{-6} \cdot X^4;$$

графік 6:

$$Y_6 = 90000 - 208,3 \cdot X + 7208,3 \cdot 10^{-2} \cdot X^2 - 31610,4 \cdot 10^{-4} \cdot X^3 + 54200 \cdot 10^{-6} \cdot X^4;$$

графік 6':

$$Y_6 = 90000 + 32,5 \cdot X^2 - 2500 \cdot 10^{-4} \cdot X^3;$$

графік 8:

$$Y_8 = 160000 + 1166,7 \cdot X - 100 \cdot X^2 + 4,6 \cdot X^3;$$

графік 8 ':

$$Y_{8'} = 160000 + 300 \cdot X + 40 \cdot X^2.$$

Таблиця 5.1 - Чисельні значення коефіцієнтів рівнянь, що описують зміну витрат від пробігу

Графік	Значення коефіцієнтів					
	A <sub>0</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>
1	3423400	-	24509,2 10 <sup>-3</sup>	-14915,4 10 <sup>-5</sup>	3232,4 10 <sup>-7</sup>	
2		3224,9	10,4	684,4 10 <sup>-3</sup>	-2700 10 <sup>-5</sup>	3200 10 <sup>-7</sup>
4	260000	108,5	156	-5,2	67200 10 <sup>-6</sup>	
6	90000	-979	7208,3 10 <sup>-2</sup>	-31610,4 10 <sup>-4</sup>	54200 10 <sup>-6</sup>	
6'	90000	-208,3	32,5	-2500 10 <sup>-4</sup>		
8	160000	1166,7	-100	4,6		
8'	160000	300	40			

Для визначення і порівняння між собою основних показників ремонтпридатності двигунів і встановлення найбільш доцільних видів планово - запобіжних ремонтів, всі розрахунки щодо визначення оптимальної структури та періодичності планово - запобіжних ремонтів виконані на ЕОМ [21].

Розглянемо процедуру визначення оптимальної структури та періодичності планово - запобіжних ремонтів на прикладі двигуна ЯМЗ-240Н і порівняємо їх значення з даними отриманими експериментально. Для розрахунку скористаємося інформацією, представленою в таблиці 5.1.

Згідно п. 5.1, перший планово - запобіжний ремонт для всіх варіантів (див. Рисунок 3.29), для двигуна ЯМЗ-238 проводиться на пробігові 45,0 тис. км. Для цього пробігу вводимо в пам'ять машини вихідні дані графіків 1 і 2 (див. Таблицю 5.1) і визначимо мінімальні сумарні витрати. Згідно проведеного розрахунку, ці витрати склали 273200 грн. За даними експериментальних досліджень мінімальні

сумарні витрати склали 284000 грн. Зіставлення розрахункових і експериментальних даних показує, що вони відрізняються незначно (~ 4%).

Потім, згідно структури аналізованого варіанта, для пробігів на яких проводяться планово – запобіжні ремонти, визначаємо значення експлуатаційних витрат і залишкової вартості двигуна. Значення цих витрат визначають за формулою 2.31, підставивши в неї відповідні значення коефіцієнтів регресії таблиці 5.1. Виконавши підсумовування значень експлуатаційних витрат і залишкової вартості двигуна, отримаємо їх сумарні значення.

Визначивши сумарні значення витрат для кожного планово - запобіжного ремонту, згідно структури аналізованого варіанта, за формулою 2.33 знаходимо загальні витрати на підтримку двигуна в працездатному стані за весь його термін служби. Потім за формулою 2.34 визначаємо величину питомих витрат на 1 км пробігу двигуна. Порівнюючи отримані значення питомих витрат на 1 км пробігу по кожному оскільки він розглядався варіанту, визначаємо оптимальний варіант. Оптимальний варіант вважається той, у якого значення питомих витрат на 1 км пробігу буде найменшим.

За результатами виконаного розрахунку, були отримані наступні значення мінімальних сумарних витрат.

За першим варіантом: для пробігу 45,0 тис. км - витрати склали 273200 грн. ; для пробігу 81,0 тис. км - 474800 грн.; для пробігу 117,0 тис. км - 420600 грн. і для пробігу 153,0 тис. км - 363900 грн.

За другим варіантом: для пробігу 45,0 тис. км - витрати склали 273200 грн.; для пробігу 81,0 тис. км - 297000 грн.; для пробігу 117,0 тис. км - 420600 грн. і для пробігу 146,0 тис. км - 188900 грн.

За третім варіантом: для пробігу 45,0 тис. км - витрати склали 273200 грн. ; для пробігу 81,0 тис. км - 297000 грн. ; для пробігу 100,5 тис. км - 327300 грн. ; для пробігу 136,5 тис. км - 390100 грн. і для пробігу 165,5 тис. км - 158600 грн.

Дані про середній ресурс, середню сумарну вартість планово - запобіжних ремонтів і питому вартість планово - запобіжного ремонту двигунів ЯМЗ-238 за весь їх термін служби, по порівнюваним варіантам, наведені в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 - Основні показники ремонтпридатності двигунів ЯМЗ-238

Структура ремонтів	Середній ресурс двигуна за весь його термін служби, тис. км	Середня сумарна вартість ремонтів двигуна	Питома вартість ремонтів двигуна, грн. / км
КР - КР - КР	153,0	1527000	9,98
ПР1 - КР - ПР1	146,0	1181000	8,09
ПР1 - ПР2 - КР - ПР1	165,5	1435000	8,67

Виконані розрахунки (див. таблицю 5.2) і аналіз показників ремонтпридатності по розглянутих варіантах планово - запобіжних ремонтів показують:

- питомі витрати за першим варіантом структури ремонтного циклу (КР - КР) значно вищі в порівнянні з іншими варіантами. При цьому варіанті за амортизаційний термін служби двигуна виконується не менше трьох планово - запобіжних ремонтів КР, а загальний пробіг становить лише 80% від нормативного. Проведення такої кількості планово - запобіжних ремонтів КР суперечить тенденції, що до скорочення загальної кількості капітальних планово - запобіжних ремонтів які проводяться над об'єктом;

- трохи вище значення питомих витрат за третім варіантом (ПР1 - ПР2 - КР) в порівнянні з другим. Пояснюється це тим, що витрати на проведення планово - запобіжного ремонту ПР2 майже в два рази перевищать витрати на проведення планово - запобіжного ремонту ПР1, а пробіг після цього планово - запобіжного ремонту не досягає навіть мінімально допустимого пробігу, рівного 20,0 тис. км. Застосування цього варіанта є недоцільним і тому порівнювання економічних результатів з іншими варіантами не наводиться;

- оптимальним є другий варіант (ПР1 - КР), у якого питомі витрати мінімальні. При цьому варіанті виконання проміжного планово - запобіжного ремонту ПР1, при якому проводиться заміна найменш довговічних деталей задовго до планово - запобіжного ремонту КР, дозволяє підвищити ресурс двигуна до капітального планово - запобіжного ремонту на 36,0 тис. км. За даними експериментальних досліджень, вартість планово - запобіжного ремонту ПР1 становить 90000 грн.

### 5.3 Розрахунок економічної ефективності від впровадження оптимального варіанту структури планово - запобіжних ремонтів двигунів

Визначення економічного ефекту, одержуваного за рахунок впровадження в практику планово - запобіжного ремонту двигунів заміною зношених елементів, представляє певні труднощі.

Впровадження планово - запобіжного ремонту двигунів кар'єрного транспорту, шляхом заміни зношених деталей, дозволяє скоротити загальну кількість капітальних ремонтів, знизити трудомісткість на планово - запобіжний ремонт, зменшити тривалість простоїв і втрати пов'язані з простоями в ремонті. Розглянутий спосіб дає можливість скоротити кількість повних розборок двигунів, що, крім зниження трудомісткості дозволяє зберегти припрацювання не заміненіх деталей і збільшити їх термін служби. Впровадження в практику планово - запобіжного ремонту двигунів заміною зношених елементів сприяє зміні їх структурного складу, тобто співвідношення кількості «нових» і капітально відновлених двигунів на користь перших.

Облік всіх перерахованих факторів на стадії впровадження не представляється можливим. Тому обмежимося визначенням річного економічного ефекту за рахунок найбільш істотних факторів - зниження трудомісткості, зменшення витрат на планово - запобіжний ремонт і втрат, пов'язаних з простоями в ремонті.

Економічний ефект може бути встановлений шляхом зіставлення витрат, трудомісткості і простоїв при традиційній системі планово - запобіжного ремонту з організаційною структурою планово - запобіжного ремонту, представленою в даній роботі.

В якості узагальненого оціночного показника найчастіше застосовують наведені питомі витрати існуючого і нового варіантів [25]:

$$E = (Z_1 + E_n \cdot K_1) - (Z_2 + E_n \cdot K_2), \quad (5.3)$$

де  $E$  - річний економічний ефект, грн. ;

$Z_1$  і  $Z_2$  - поточні витрати по існуючого й пропонованого варіантів, грн.;

$K_1$  і  $K_2$  - капітальні вкладення для існуючого й пропонованого варіантів, грн.;

$E_n$  - нормативний коефіцієнт економічної ефективності. Згідно [9] становить 0,15.

З деяким наближенням, можна прийняти, що додаткові капітальні вкладення при новому варіанті організації планово - запобіжного ремонту не потрібні, тому можна прийняти:

$$E_n \cdot K_1 = E_n \cdot K_2, \quad (5.4)$$

Тоді економічну ефективність від пропонованого варіанту планово - запобіжного ремонту можна визначити на підставі рекомендацій [9], як різницю поточних витрат за першим та другим варіантами:

$$E = Z_1 - Z_2, \quad (5.5)$$

При першому варіанті (КР - КР - КР), в поточні витрати входять витрати на ремонт  $Z_{кр1}$ , втрати від простоїв в планово - запобіжному ремонті  $d_{кр1}$  і транспортні витрати  $Z_{КР1}^{ТР}$ :

$$Z_1 = Z_{кр1} + d_{кр1} + Z_{кр1}^{mp}, \quad (5.6)$$

При другому варіанті (ПР1 - КР - ПР1), в поточні витрати входять витрати на ремонт КР -  $Z_{кр2}$  і ПР1 -  $Z_{ПР1}$ , втрати від простоїв в ремонті  $d_{кр2}$ ,  $d_{ПР1}$ , втрати від недовикористання ресурсу передчасно заміненних деталей  $q_{ПР1}$  і транспортні витрати  $Z_{КР2}^{ТР}$ :

$$Z_2 = Z_{кр2} + d_{кр2} + Z_{кр2}^{mp} + Z_{пр1} + d_{пр1} + q_{пр1}, \quad (5.7)$$

За результатами експериментальних досліджень [28], загальні витрати  $C^{заг}$  на підтримку двигуна ЯМЗ-238 в працездатному стані за повний термін його служби, склали:

- для варіанта КР - КР - КР - 1432500 грн. (Див. Табл.5.2);
- для варіанту ПР1 - КР - ПР1 - 1179600 грн. (Див. Табл.5.2).

Тривалість простоїв двигунів в планово-запобіжному ремонті за нормативами і досвідом становить 24 дні [19]. Тривалість простоїв при заміні зношених деталей складається з простоїв при відповідних планово-запобіжних ремонтах, включаючи складність виконуваних робіт (до 6 днів). Загальна тривалість простоїв двигуна в ремонті склала:

- за першим варіантом - 72 дні (три ремонти по 24 дні);
- за другим варіантом - 36 днів (один планово - запобіжний ремонт КР - 24 дні і два ремонти ПР1 по 6 днів).

Збитки, від простоїв в ремонті, виражаються через втрати прибутку, розмір якого на 1 машино-годину роботи складає 1200 грн. При розрахунках прибутку середня тривалість роботи автомобіля КрАЗ-256Б на добу приймається 14 год [12]. Крім того, при розрахунках вводиться коефіцієнт, що враховує тривалість простоїв автомобіля через знаходження двигуна в капітальному ремонті, який дорівнює 0,5.

Втрати прибутку, через простій двигуна в ремонті за весь термін служби, становив:

- базовим варіантом:  $d_{кр1} = 1200 \times 72 \times 14 \times 0,5 = 604800$  грн. ;
- по запропонованому варіанту:  $d_{кр2} = 1200 \times 36 \times 14 \times 0,5 = 302400$  грн.

Витрати на транспортування двигуна в капітальний планово - запобіжний ремонт визначені згідно [19].

Втрати від недовикористання ресурсу деталей, що замінюються із залишковим ресурсом, визначалися за формулою 2.20 (див. Розділ II).

Дані для розрахунку економічної ефективності планово - запобіжного ремонту двигуна ЯМЗ-238, за весь його термін служби, наведені в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 - Вихідні дані для розрахунку економічної ефективності планово - запобіжного ремонту двигуна ЯМЗ-238 від впровадження нової системи планово - запобіжного ремонту

Показники	Позначення	Базовий варіант	Пропонований варіант
Витрати на ремонт, грн.	з	1432500	1179600
Втрати прибутку від простоїв у ремонті, грн.	d	604800	302400
Витрати на транспортування, грн.	з <sub>тр</sub>	10200	5400
Втрати від недовикористання ресурсу деталей, грн.	q	0	199400

Поточні витрати за весь термін служби двигуна, склали:

- за базовим варіантом:

$$C_1^{заг} = 1432500 + 604800 + 10200 = 2047500 \text{ грн.}$$

- по пропонованому варіанту:

$$C_2^{заг} = 1179600 + 302400 + 5400 + 199400 = 1684800 \text{ грн.}$$

Ефект від впровадження запропонованого варіанту, склав:

$$E = Z_1 - Z_2 = 2047500 - 1684800 = 362700 \text{ грн.}$$

Річний економічний ефект на 1 двигун складе:

$$E_{річ}^{од} = E \cdot (E_n + K), \text{ грн.} \quad (5.8)$$

де K - коефіцієнт реновації, K = 0,08.

Річний економічний ефект склав:

$$E_{річ}^{од} = 3627 \cdot (0,15 + 0,08) = 83400 \text{ грн.}$$



#### 5.4 Висновки до п'ятого розділу

1. При порівнянні експериментально отриманих величин показників ремонтпридатності по порівнюваним варіантів структури планово - запобіжного ремонту встановлено, що економічно доцільним (оптимальним) варіантом є варіант - ПР1 - КР - ПР1.

2. Впровадження в ремонтну практику проміжного планово - запобіжного ремонту ПР1, дозволяє збільшити ресурс двигуна ЯМЗ-238 до капітального планово - запобіжного ремонту на 36,0 тис. км.

3. Встановлено, що економічно виправдано проведення одного капітального планово - запобіжного ремонту за повний амортизаційний термін служби двигуна.

4. Оскільки ресурс двигуна після проведення планово - запобіжного ремонту ПР2 становить 19,5 тис. км, що менше  $L_{min}$ , його виконання на пробігу 81,0 тис. Км є економічно недоцільним. На цьому пробігу замість планово - запобіжного ремонту ПР2 необхідно виконати планово - запобіжний ремонт КР.

5. Пропонований варіант структури планово - запобіжного ремонту дозволяє довести ресурс двигуна ЯМЗ-238 до списання до 146,0 тис. км, що на 22% більше базового варіанту.

6. Річний економічний ефект на один двигун, від впровадження в практику запропонованого варіанту ремонтного циклу, склав для двигуна ЯМЗ-238 - 83400 грн.

## ВИСНОВКИ

1. Глибоко і всебічно досліджені дефекти, знос і відмови основних деталей двигунів ЯМЗ-238 при їх надходженні в перший капітальний планово - запобіжний ремонт, які можуть служити основою для вдосконалення їх конструкції, технології виготовлення і системи планово - запобіжного ремонту.

2. Експериментальні дослідження показали, що при існуючій системі організації планово - запобіжного ремонту більшість блоків циліндрів при надходженні двигунів ЯМЗ-238 на початку капітального планово - запобіжного ремонту у відновленні не потребують і цілком придатні до подальшої експлуатації.

3. Встановлено, що у двигунів ресурс основних деталей коливається в широких межах і не дотримується їх кратність. Так, наприклад, у двигунів ЯМЗ-238 коефіцієнт відносної довговічності основних деталей коливається від 0,53 до 1,0 і більше, що сприяє ранній постановці їх на планово - запобіжний ремонт.

4. Встановлено, що деталями, які лімітують ресурс двигуна ЯМЗ-238, є гільзи циліндрів, поршні, поршневі кільця, шатунні вкладиші. Найменший ресурс, у гільз циліндрів, рівний 45,0 тис. км.

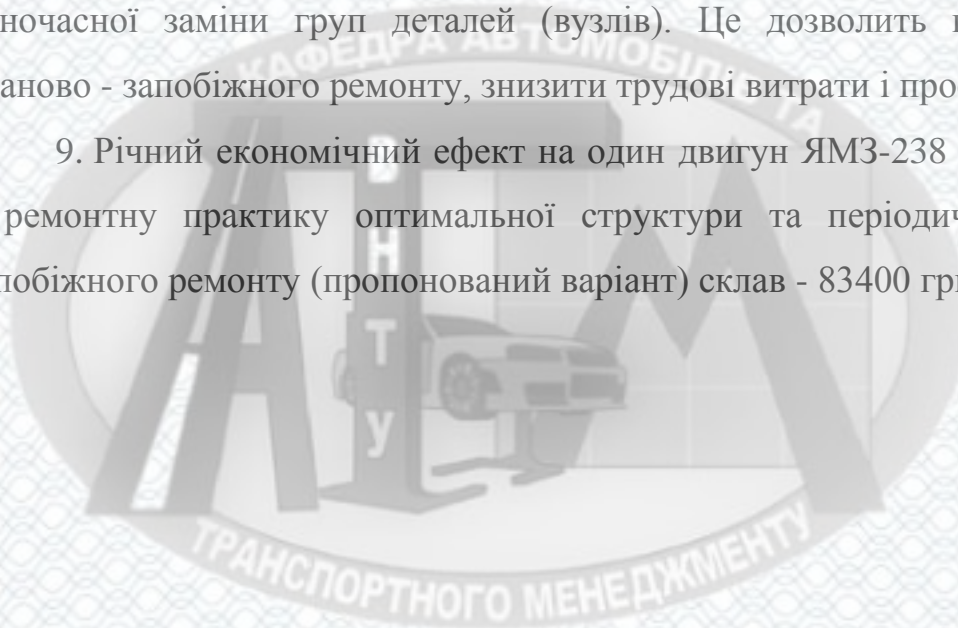
5. Виконані дослідження показали доцільність і економічну ефективність планово - запобіжного ремонту двигунів ЯМЗ-238 шляхом одночасної заміни груп деталей. Це дозволяє знизити кількість дорогих ремонтів, витрату запасних частин і матеріалів, тривалість простоїв в ремонті, втрати від простоїв, а також значно підвищити якість планово - запобіжного ремонту.

6. Встановлено, що оптимальною структурою планово - запобіжного ремонту є структура ПР1 - КР - ПР1. При цьому за повний амортизаційний термін служби двигуна ЯМЗ-238 виконується тільки один капітальний планово - запобіжний ремонт на пробігові 81,0 тис. км, а пробіг двигуна до списання склав 146,0 тис. км, що на 22% більше ніж у базового варіанту.

7. З метою підвищення рівня організації планово - запобіжного ремонту доцільно для нових і капітально відновлених двигунів мати ремонтний комплект деталей, що забезпечують виконання проміжного планово - запобіжного ремонту ПР1.

8. Для реалізації розроблених положень щодо вдосконалення організації планово - запобіжного ремонту на спеціалізованих ремонтних підприємствах доцільно створити лінії з відновлення працездатності двигунів шляхом одночасної заміни груп деталей (вузлів). Це дозволить поліпшити якість планово - запобіжного ремонту, знизити трудові витрати і простої в ремонті.

9. Річний економічний ефект на один двигун ЯМЗ-238 від впровадження в ремонтну практику оптимальної структури та періодичності планово - запобіжного ремонту (пропонований варіант) склав - 83400 грн.



## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Авдонькин, Ф.Н. Повышение срока службы автомобильных двигателей. /Ф.Н Авдонькин. – Саратов: Приволжское книжное издательство, 2009. - 280 с.
2. Беллман, Р. Прикладные задачи динамического программирования. /Р. Беллман, С. Дрейфус. – М.:Наука,2005. – 460 с.
3. Великанов, Д.П. Эффективность автомобиля. /Д.П. Великанов. – М.: Транспорт, 1999. - 240 с.
4. Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною: НАПБ Б.03.002-2007. – Київ : ДЕРЖПОЖБЕЗПЕКИ МНС УКРАЇНИ, 2007.
5. Виробничо-технічна база підприємств автомобільного транспорту. Навчальний посібник / [В.В. Біліченко, В.Л. Крещенецький, С.О. Романюк, Є.В. Смирнов]. – Вінниця, – ВНТУ, – 2013. – режим доступу : <http://posibnyku.vntu.edu.ua/newauto/5/index.html>.
6. Волчок, В.Ф. Сервисное обеспечение техники «БелАЗ». /В.Ф. Волчок, Н.Н. Зуй, А.О. Гаравский. //Горный журнал. – 2008. - № 9. - С. 69 – 94.
7. Гальперин, А.С. Определение оптимальной долговечности машин. /А.С. Гальперин, М.И. Сушкевич. – М.: Колос, 1990. – 184 с.
8. Гмурман, В.С. Теория вероятностей и математическая статистика. /В.С. Гмурман. – М.: Высшая школа, 2002. - 368 с.
9. Двигатели ЯМЗ-240, ЯМЗ-240Н, ЯМЗ-240П. Инструкция по эксплуатации. – Ярославль: ЯМЗ, 1999. - 151 с.
10. Дюмин, И.Е. Повышение эффективности ремонта автомобильных двигателей. /И.Е. Дюмин.– М.: Транспорт, 1987. - 175 с.
11. Дюмин, И.Е. Проблемы совершенствования ремонта и повышение эффективности использования автомобильных двигателей: дис. на соискание ученой степени докт.техн. наук: 05.22.10 /Дюмин Иван Елисеевич. – Харьков, 1979. - 388 с.

12. Карасёв, А.И. Теория вероятностей и математическая статистика. /А.И. Карасёв. – М.: Статистика, 2000. – 344 с.
13. Колегаев Р.Н. Определение наивыгоднейших сроков службы машин. /Р.Н. Колегаев. – М.: Экономика, 1963. – 227 с.
14. Красонтович, И.В. Определение потерь от простоя автомобилей. /И.В. Красонтович, В.В. Палковский. //Киев: Автоторожник Украины. – 1995. - № 3. - С. 41 - 43.
15. Крившин, А.П. Ремонт бульдозеров агрегатным методом. /А.П. Крившин, Н.Ф. Печенин. – М.: Транспорт, 1999. – 171 с.
16. Кузнецов, Е.С. Методы определения периодичности технического обслуживания и целесообразности принудительного ремонта. /Е.С. Кузнецов. //Автомобильная промышленность. – 1995. - № 6. - С. 10 – 14.
17. Моисеев, Н.Н. Численные методы в теории оптимальных систем. /Н.Н. Моисеев. – М.: Наука, 2001. – 424 с.
18. Огневий В.О., Шевчук С.М. Аналіз досліджень з питання удосконалення організації планово-запобіжного ремонту автомобілів // Матеріали XIV міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту». Збірник тез доповідей. – Вінниця: ВНТУ, 2021. – С. 167-170.
19. Положение о техническом обслуживании и ремонте подвижного состава автомобильного транспорта. – М.: Транспорт, 1986. – 72 с.
20. Правила охорони праці на автомобільному транспорті : ДНАОП 0.00-1.28-97. – К. : Держнаглядохоронпраці, 1997.
21. Ремонтпригодность машин. Под редакцией Н.П. Волкова. – М.: Машиностроение, 1995. – 368 с.
22. Селиванов А.И. Основы теории старения машин. /А.И. Селиванов. – 2-е изд. - М.: Машиностроение, 1991. – 408 с.
23. Технические условия на капитальный ремонт двигателей ЯМЗ-240, ЯМЗ240Н, ЯМЗ-240Б. – Ярославль: ЭРО-ЯМЗ, 1996. – 550 с.

24. Технические условия на капитальный ремонт двигателей ЯМЗ-240, ЯМЗ240Н, ЯМЗ-240Б. 240-00.00.00РК. – Белгород: ОГК завода «Гормаш», 1996. – 140 с.

25. Шатерников, М.В. Износы и дефекты основных деталей и ресурс двигателей ЯМЗ-240Н /М.В. Шатерников, В.С. Шатерников. //Мир транспорта и технологических машин. – 2013. - № 3. - С. 8 – 15.

26. Шатерников, М.В. Пути повышения ресурса двигателей карьерных автосамосвалов БелАЗ до капитального ремонта /М.В. Шатерников, Ю.В. Семикопенко, В.С. Шатерников. //Мир транспорта и технологических машин. - 2013, № 4. - С. 19 – 26.

27. Шатерников, М.В. Повышение надёжности и долговечности двигателя ЯМЗ-240Н. /М.В. Шатерников, В.А. Корчагин, В.С. Шатерников. //Автотранспортное предприятие. – 2014. - № 7. - С. 42 – 45.

28. Шатерников, М.В. Определение оптимальной стратегии ремонтного обслуживания двигателя ЯМЗ-240Н /М.В. Шатерников, В.А. Корчагин, В.С. Шатерников. //Автотранспортное предприятие. – 2014. - №10. - С. 35 – 39.

29. Nasling B. Sirreitetenconedeterminationof optimal repair poliey and serviselufs. //Swed, Scow. - 1998. - V. 2. - Sh. 42 – 45.

30. Barlow R., Honder L. Optimum Preventive. NaintenangePolycies.//Oper.Res. - 1990. - V. 11.-Sh. 125.

31. Dalzell G.RebuiltERF //TransportEngineer. - 1981. - V.7. - Sh. 6 – 8.



ДОДАТКИ

Додаток А  
(обов'язковий)

Вінницький національний технічний університет  
Факультет машинобудування та транспорту  
Кафедра автомобілів та транспортного менеджменту

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри АТМ  
к.т.н., доц. С.В. Цимбал

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ**

**на виконання магістерської кваліфікаційної роботи**

на тему: «Підвищення ефективності ремонту двигунів автомобілів товариства з обмеженою відповідальністю «Гніванський гранітний кар'єр» шляхом запровадження планово-запобіжного ремонту»

08-29.МКР.111.00.000.ТЗ

Науковий керівник: к.е.н., доцент кафедри АТМ  
наук. ступінь, вчене звання (посада)

\_\_\_\_\_ Огневий В.О.  
(підпис) (прізвище, ініціали)

Студент групи \_\_\_\_\_ 1АТ-20м  
назва групи

\_\_\_\_\_ Шевчук С.М.  
(підпис) (прізвище, ініціали)

Вінниця 2021 р.



## 1. Підстава для виконання магістерської кваліфікаційної роботи (МКР)

наказ № 277 по ВНТУ від «24» вересня 2021 р. про затвердження теми МКР.

## 2. Мета і призначення магістерської кваліфікаційної роботи

Магістерська кваліфікаційна роботи призначена для вирішення питань підвищення ефективності ремонту двигунів автомобілів товариства з обмеженою відповідальністю «Гніванський гранітний кар'єр» шляхом запровадження планово-запобіжного ремонту.

**Мета роботи:** підвищення ефективності планово - запобіжного ремонту дизелів автомобілів, які працюють в умовах кар'єрів за рахунок вдосконалення їх структури та періодичності.

**Для виконання МКР необхідно розв'язати такі задачі:**

- розробити математичну модель оптимальної структури планово - запобіжного ремонту двигунів кар'єрного транспорту;
- розробити алгоритм для вибору оптимальної структури та періодичності планово - запобіжного ремонту двигунів кар'єрного транспорту;
- встановити оптимальну структуру і періодичність планово - запобіжного ремонту за амортизаційний термін служби двигунів кар'єрного транспорту;
- визначити економічну ефективність від впровадження оптимальної структури та періодичності встановити оптимальну структуру і періодичність планово - запобіжного ремонту двигунів;
- розробити заходи з охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях.

## 3. Вихідні дані для написання магістерської кваліфікаційної роботи

Вибрані підприємства: товариства з обмеженою відповідальністю «Гніванський гранітний кар'єр». Показники виробничо-фінансової діяльності; кількість АТЗ; законодавство України в галузі охорони праці, безпеки в надзвичайних ситуаціях та цивільного захисту.

## 4. Виконавець МКР – Шевчук С.М., ст. гр. 1АТ-20м.

## 5. Вимоги до виконання МКР

В процесі виконання магістерської кваліфікаційної роботи потрібно на основі дослідження дефектів і відмов основних деталей двигунів ЯМЗ-238 оцінити доцільність і економічну ефективність планово - запобіжного ремонту двигунів та розробити оптимальну структуру та періодичність планово - запобіжного ремонту.

Також необхідно розробити заходи щодо забезпечення необхідного рівня охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях при виконанні наукових досліджень.

## 6. Етапи МКР і терміни їх виконання

Етапи МКР	Зміст етапу	Термін виконання	Очікувані результати
Вибір напрямку дослідження	<ul style="list-style-type: none"> <li>Добір, вивчення та узагальнення наукової та статистичної інформації</li> <li>Розгляд можливих напрямів досліджень та їх оцінювання</li> <li>Вибір напрямку дослідження</li> <li>Обґрунтування прийнятого напрямку дослідження</li> <li>Розроблення, погодження і затвердження ТЗ на МКР</li> </ul>	27.09-04.10.2021	розгорнутий план МКР
Основна частина роботи	<ul style="list-style-type: none"> <li>Науково-технічне обґрунтування необхідності вдосконалення ефективності планово - запобіжного ремонту двигунів автомобілів товариства з обмеженою відповідальністю «Гніванський гранітний кар'єр»</li> </ul>	05.10-12.10.2021	Розділ 1
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Основи формування і вибору оптимальної структури та періодичності заміни зношених елементів двигунів кар'єрних автомобілів.</li> </ul>	13.10-31.10.2021	Розділ 2
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Експериментальні дослідження дефектів, зносів і показників ремонтпридатності двигунів кар'єрного транспорту.</li> </ul>	01.11-07.11.2021	Розділ 3
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях</li> </ul>	08.11-15.11.2021	Розділ 4
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Вибір оптимальної структури планово-запобіжних ремонтів для двигунів ЯМЗ-238</li> </ul>	08.11-21.11.2021	Розділ 5
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Складання висновків за результатами досліджень</li> </ul>	16.11-30.11.2021	Висновки МКР
Узагальнення результатів	<ul style="list-style-type: none"> <li>Узагальнення результатів теоретичних та аналітичних досліджень та написання</li> </ul>	01.12-08.12.2021	Ілюстративний матеріал,

досліджень, підготовка до захисту роботи	доповіді на захист МКР <ul style="list-style-type: none"> <li>• Оформлення ілюстративного матеріалу, реферату, підготовка презентації МКР в редакторі Microsoft Office PowerPoint.</li> <li>• Одержання відзиву наукового керівника та рецензії</li> </ul>		презентація
--	--	--	-------------

## 7. Очікувані результати

Основні положення магістерської кваліфікаційної роботи:

- розроблена оптимальна структура і періодичність планово - запобіжного ремонту;
- встановлений комплект вузлів і деталей, що підлягають заміні при проведенні планово - запобіжного ремонту № 1 і № 2 (ПР1 і ПР2);
- визначений економічно доцільний ресурс двигуна до його списання.
- 

## 8. Матеріали, які подають після завершення написання МКР та її етапів

Переплетена пояснювальна записка магістерської кваліфікаційної роботи; графічний матеріал; відгук керівника; рецензія зовнішнього рецензента.


## 9. Порядок приймання МКР та її етапів

Результати магістерської кваліфікаційної роботи розглядаються на процентовках керівником роботи та завідувачем кафедри відповідно до етапів роботи та термінів їх виконання; проводиться попередній захист роботи та офіційний захист магістерської кваліфікаційної роботи.

Дата початку роботи – 27 вересня 2021 р.

Граничний термін закінчення робіт – 8 грудня 2021 р.

Додаток Б  
(обов'язковий)



**ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА**

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РЕМОНТУ ДВИГУНІВ  
АВТОМОБІЛІВ ТОВАРИСТВА З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ  
«ГНІВАНСЬКИЙ ГРАНІТНИЙ КАР'ЄР» ШЛЯХОМ ЗАПРОВАДЖЕННЯ  
ПЛАНОВО-ЗАПОБІЖНОГО РЕМОНТУ**

Вінницький національний технічний університет  
Факультет машинобудування та транспорту  
Кафедра автомобілів та транспортного менеджменту

**Підвищення ефективності ремонту двигунів автомобілів  
товариства з обмеженою відповідальністю «Гніванський гранітний  
кар'єр» шляхом запровадження планово-запобіжного ремонту**

Графічна частина

до магістерської кваліфікаційної роботи  
зі спеціальності 274 – Автомобільний транспорт  
08-29.МКР.003.00.000

Керівник роботи к.е.н., доцент

Огневий В.О.

Розробив студент гр. 1АТ-20м

Шевчук С.М.

Вінниця ВНТУ 2021

**Метою роботи** є підвищення ефективності планово - запобіжного ремонту дизелів автомобілів, які працюють в умовах кар'єрів за рахунок вдосконалення їх структури та періодичності.

**Для досягнення зазначеної мети в роботі були поставлені наступні завдання:**

1. Розробити математичну модель оптимальної структури планово - запобіжного ремонту двигунів кар'єрного транспорту;
2. Розробити алгоритм для вибору оптимальної структури та періодичності планово - запобіжного ремонту двигунів кар'єрного транспорту;
3. Встановити оптимальну структуру і періодичність планово - запобіжного ремонту за амортизаційний термін служби двигунів кар'єрного транспорту;
4. Визначити економічну ефективність від впровадження оптимальної структури та періодичності планово - запобіжного ремонту двигунів;
5. Розробити заходи з охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях.

**Об'єктом дослідження** є процес планово - запобіжного ремонту двигунів ЯМЗ-238, встановлених на кар'єрних автомобілях-самоскидах КрАЗ.

**Предметом дослідження** є закономірності впливу планово-запобіжного ремонту на ефективність ремонту двигунів автомобілів товариства з обмеженою відповідальністю «Гніванський гранітний кар'єр»

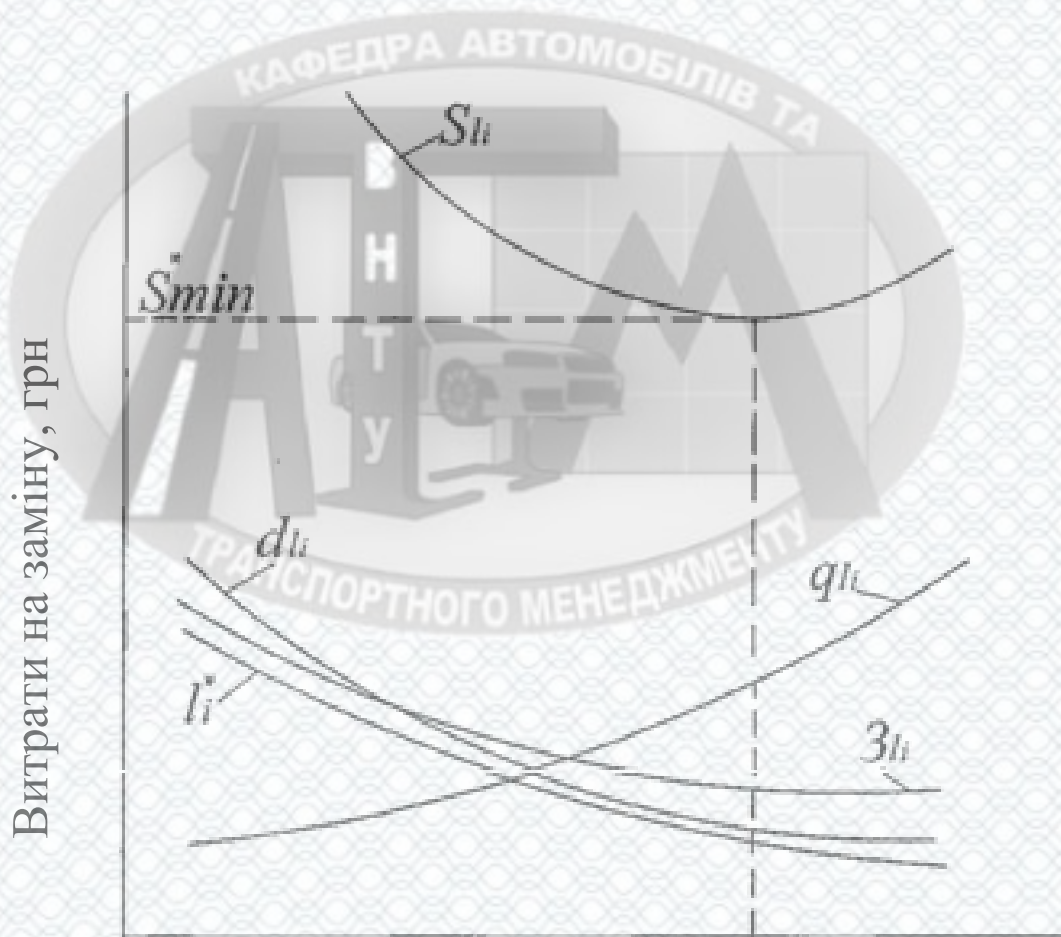
#### **Наукова новизна.**

- номенклатура ремонтних комплектів, що підлягають заміні при проведенні планово - запобіжного ремонту ПР1 і ПР2;
- результати формування оптимальної структури та періодичності планово - запобіжного ремонту за амортизаційний термін служби двигуна ЯМЗ-238.

#### **Практичне значення отриманих результатів**

За результатами проведених досліджень: встановлений комплект вузлів і деталей, що підлягають заміні при проведенні планово - запобіжного ремонту № 1 і № 2 (ПР1 і ПР2); визначений економічно доцільний ресурс двигуна до його списання.

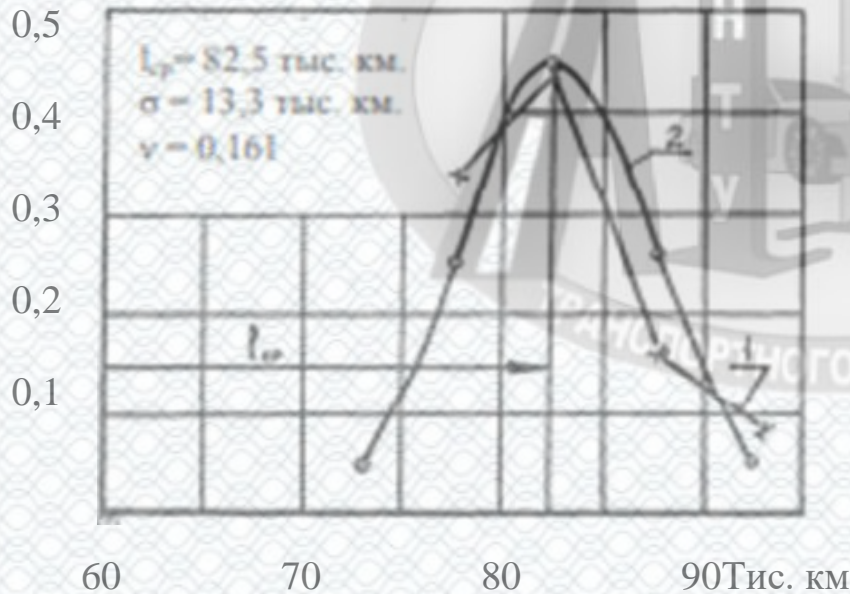
# Характер зміни витрат на заміну, в залежності від кількості одночасно замінних елементів



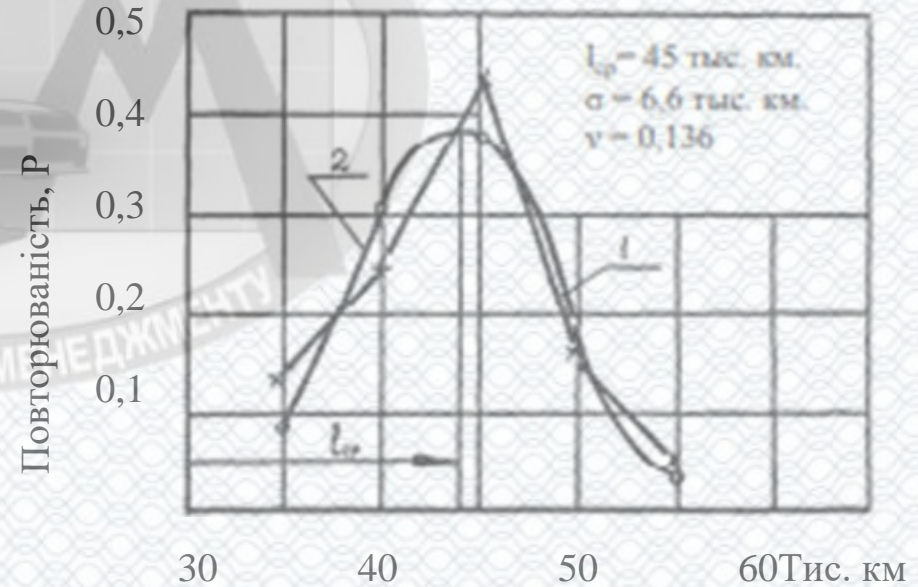
Кількість одночасно замінених елементів, шт



Характеристика розподілу відмов блоку циліндрів двигуна ЯМЗ-238 в залежності від пробігу

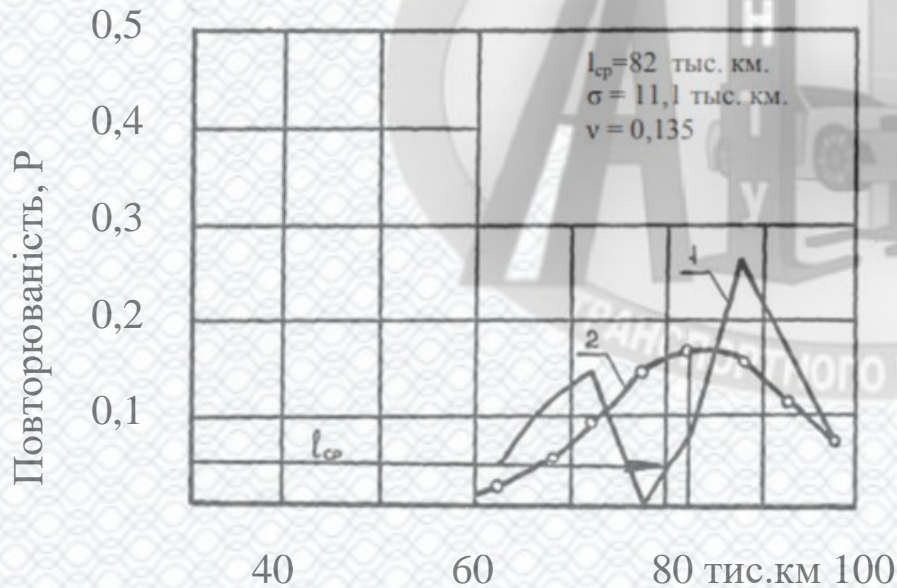


Характеристика розподілу відмов гільз циліндрів двигунів ЯМЗ-238 в залежності від пробігу

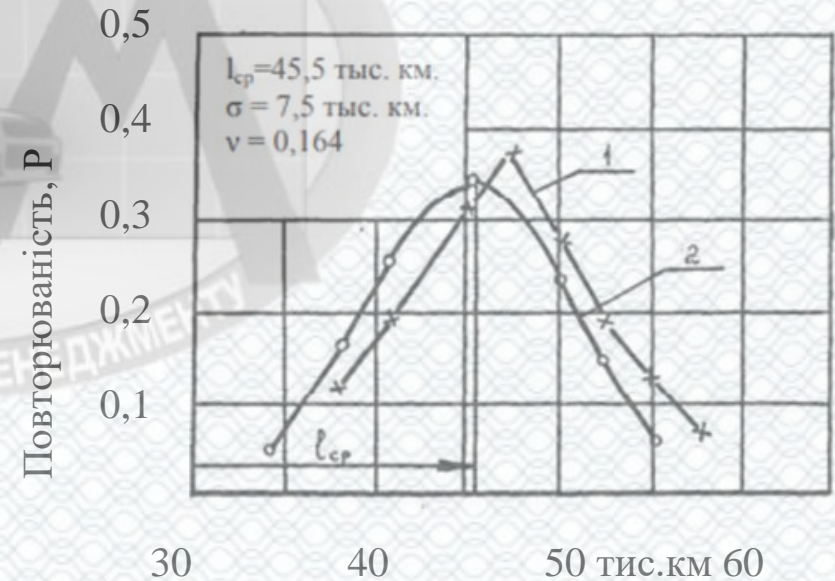


1 – дослідна повторюваність; 2 - теоретична повторюваність;  $l_{cp}$  - середній ресурс деталі до відмови

## Характеристика розподілу головок циліндрів двигуна ЯМЗ-238 в залежності від пробігу

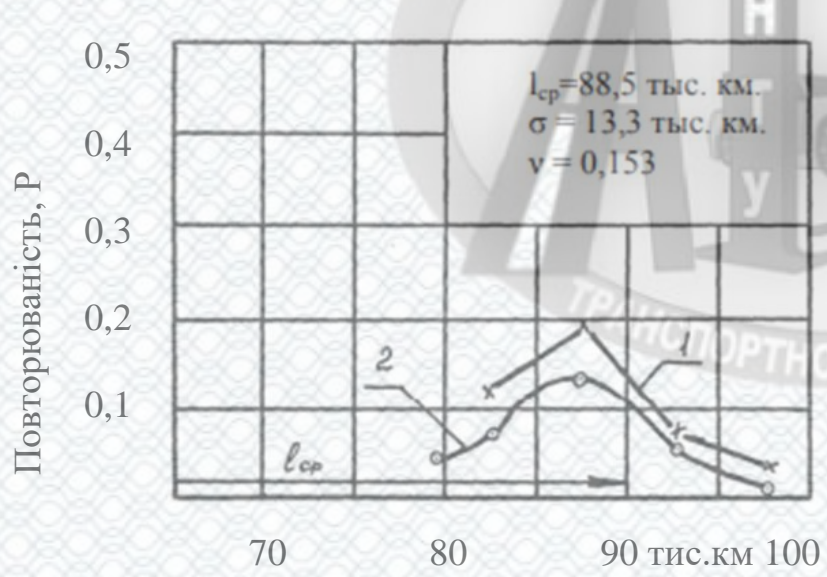


## Характеристика розподілу відмов поршнів двигунів ЯМЗ-238 в залежності від пробігу

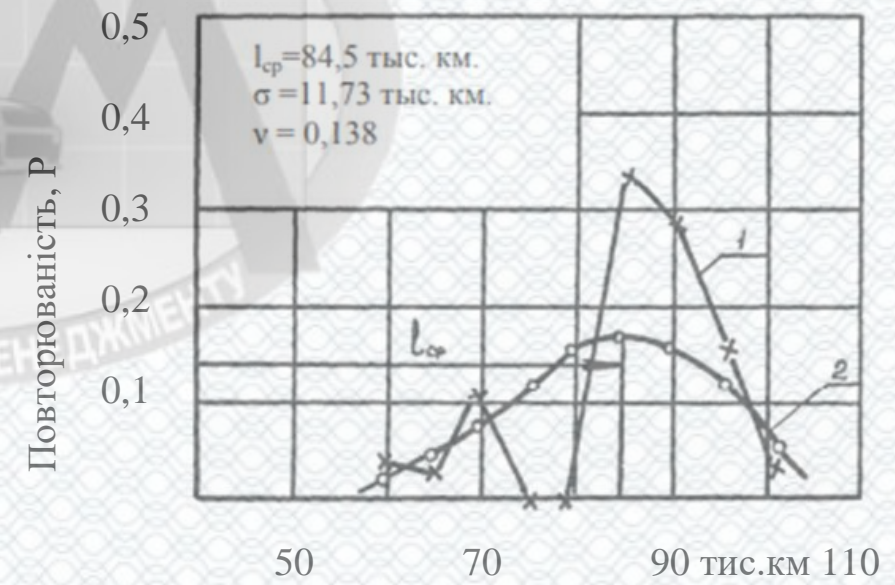


1 – дослідна повторюваність; 2 - теоретична повторюваність;  $l_{cp}$  - середній ресурс деталі до відмови

# Характеристика розподілу відмов поршневих пальців двигунів ЯМЗ-238 в залежності від пробігу

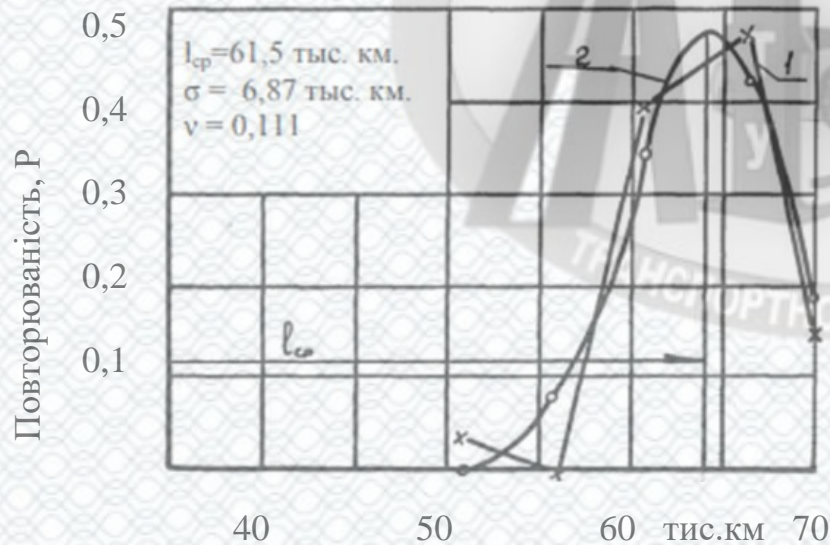


# Характеристика розподілу відмов шатунів двигунів ЯМЗ-238 в залежності від пробігу

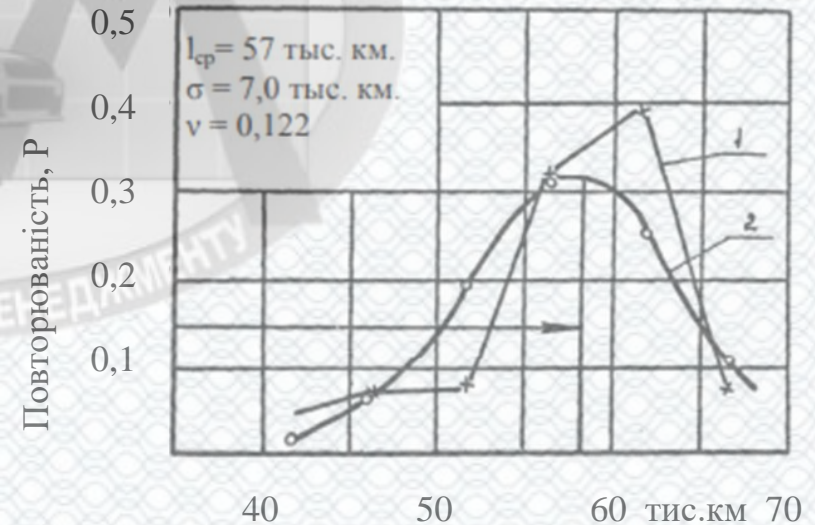


1 – дослідна повторюваність; 2 - теоретична повторюваність;  $l_{cp}$  - середній ресурс деталі до відмови

Характеристика розподілу відмов колінчастого вала двигунів ЯМЗ-238 в залежності від пробігу

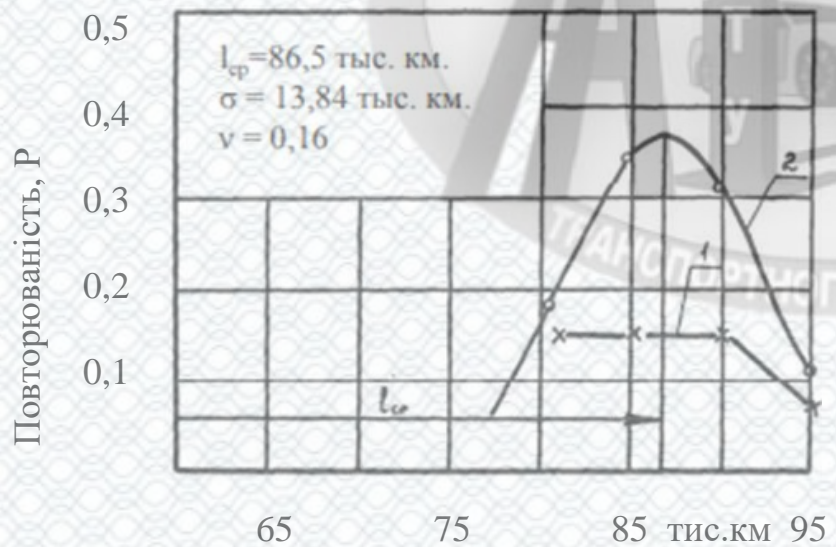


Характеристика розподілу відмов шатунних вкладишів двигунів ЯМЗ-238 в залежності від пробігу

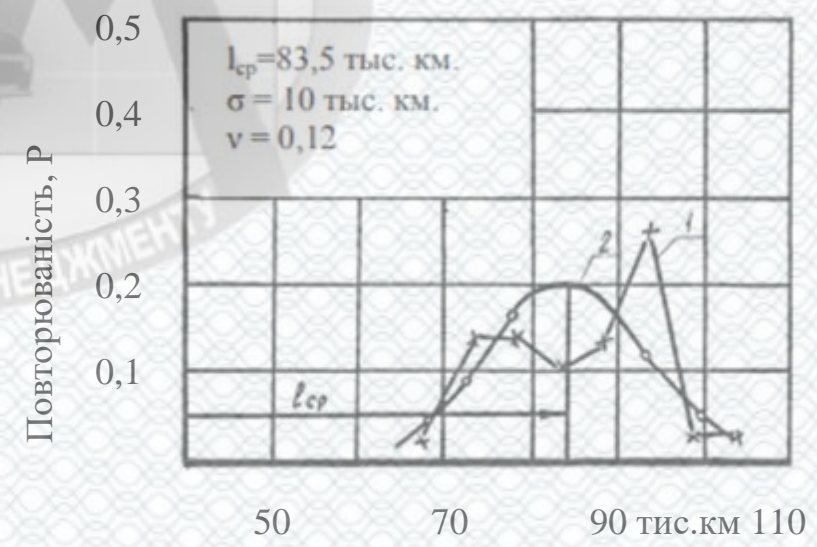


1 – дослідна повторюваність; 2 - теоретична повторюваність;  $l_{cp}$  - середній ресурс деталі до відмови

# Характеристика розподілу відмов розподільного вала двигунів ЯМЗ-238 в залежності від пробігу

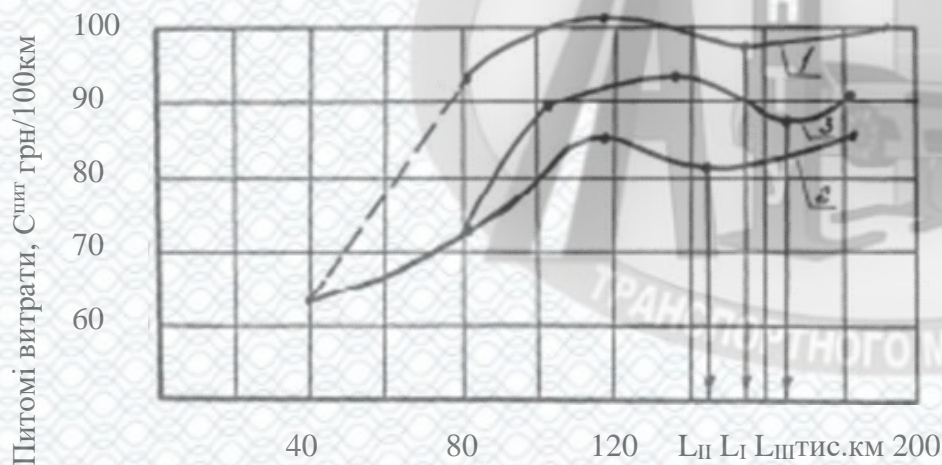


# Характеристика розподілу відмов клапанів двигунів ЯМЗ-238 в залежності від пробігу



1 – дослідна повторюваність; 2 - теоретична повторюваність;  $l_{cp}$  - середній ресурс деталі до відмови

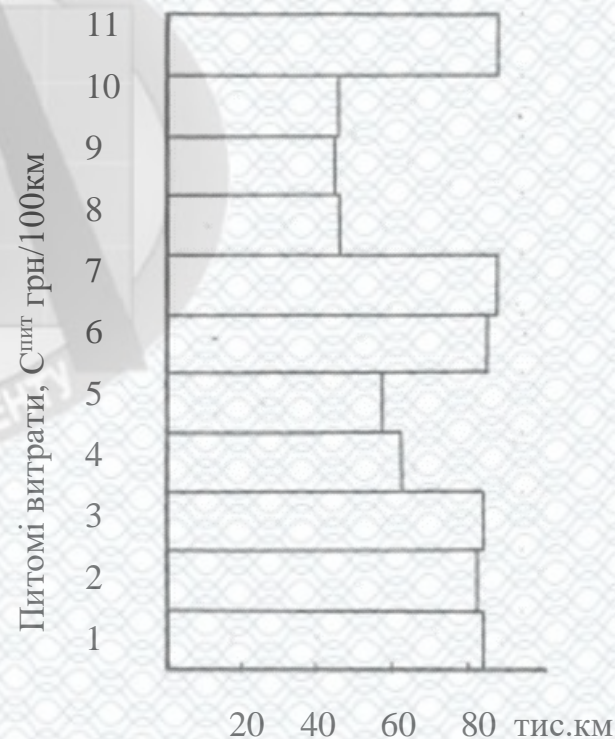
## Характер зміни питомих витрат на підтримку агрегату в працездатному стані в залежності від пробігу (на прикладі двигуна ЯМЗ-238)



1 - для варіанту КР - КР; 2 - для варіанту ПР1 - КР; 3 - для варіанту ПР1 - ПР2 - КР;

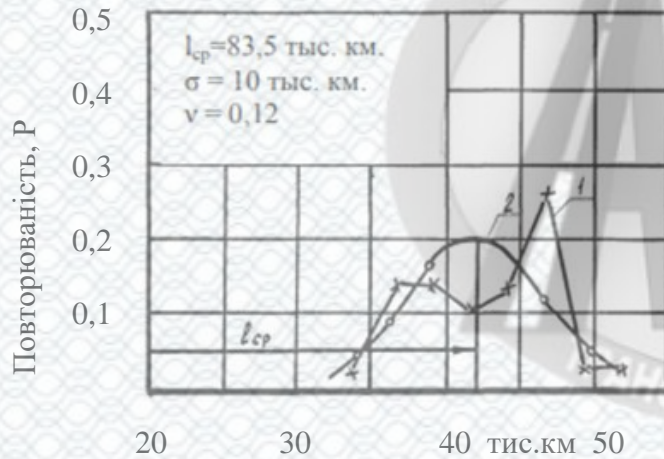
$L_I$ ,  $L_{II}$ ,  $L_{III}$  - оптимальний пробіг двигуна до списання, відповідно для варіантів I, II і III

## Ресурс основних деталей двигуна ЯМЗ-238



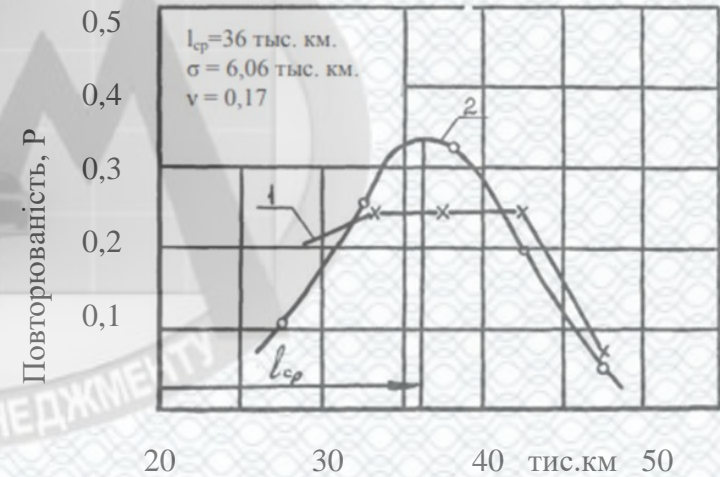
1 - блок циліндрів; 2 - головка циліндрів; 3 - клапана; 4 - вал колінчастий; 5 - вкладиші шатунні; 6 - шатун; 7 - вал розподільний; 8 - поршень; 9 - гільза циліндрів; 10 - кільця поршневі; 11 - палець поршневий

Криві розподілу технічного ресурсу двигунів ЯМЗ-238 для варіанта КР - КР



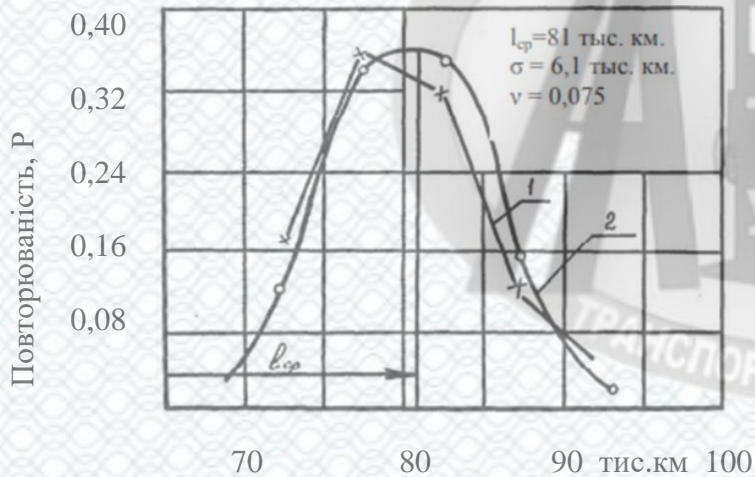
1 - дослідна повторюваність; 2 - теоретична повторюваність;  $l_{cp}$  - середній ресурс двигуна до ремонту КР

Криві розподілу технічного ресурсу двигунів ЯМЗ-238 після проведення ремонту ПР1



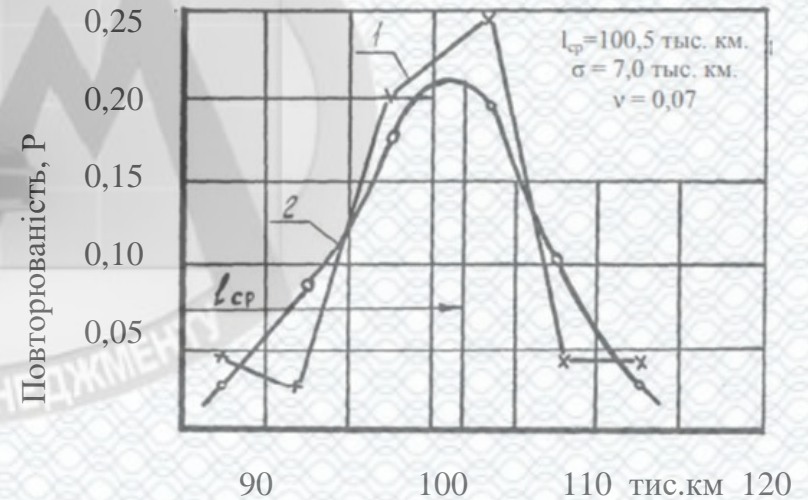
1 – дослідна повторюваність; 2 - теоретична повторюваність;  $l_{cp}$  - середній ресурс двигуна після ремонту КР

# Криві розподілу технічного ресурсу двигунів ЯМЗ-238 для варіанту ПР1 - КР



1 - дослідна повторюваність; 2 - теоретична повторюваність;  $l_{cp}$  - середній ресурс двигуна до ремонту КР

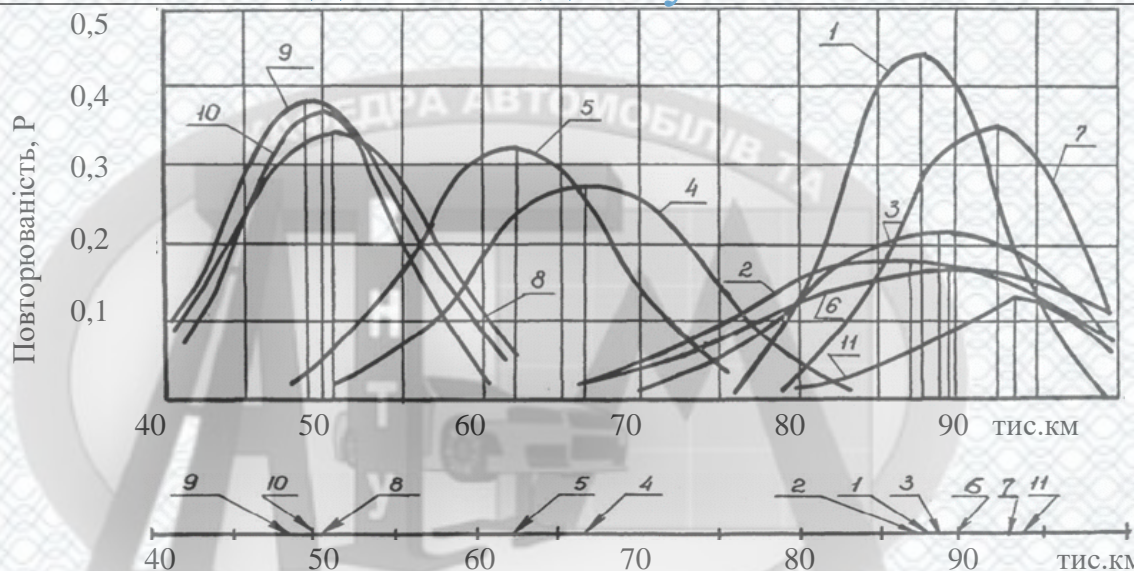
# Криві розподілу технічного ресурсу двигунів ЯМЗ-238 для варіанту ПР1 - ПР2 - КР



1 – дослідна повторюваність; 2 - теоретична повторюваність;  $l_{cp}$  - середній ресурс двигуна до ремонту КР

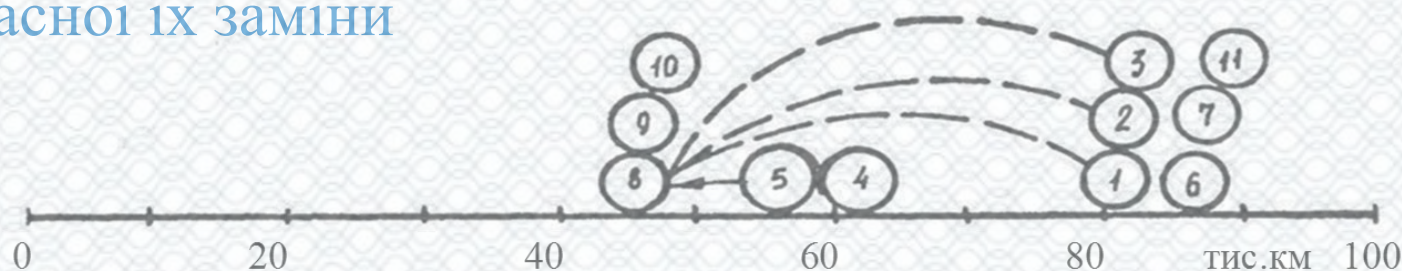


# Характеристика розподілу відмов і середніх значень ресурсів основних деталей двигуна ЯМЗ-238



1 - блок циліндрів; 2 - головка циліндрів; 3 - клапана; 4 - вал колінчастий; 5 - вкладиші шатунні; 6 - шатун;  
7 - вал розподільний; 8 - поршень; 9 - гільза циліндрів; 10 - кільця поршневі; 11 - палець поршневий

## Формування в групі основних деталей двигуна ЯМЗ-238 для одночасної їх заміни

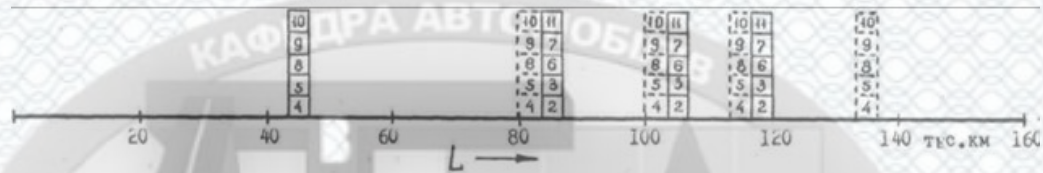


1 - блок циліндрів; 2 - головка циліндрів; 3 - клапана; 4 - вал колінчастий; 5 - вкладиші шатунні; 6 - шатун;  
7 - вал розподільний; 8 - поршень; 9 - гільза циліндрів; 10 - кільця поршневі; 11 - палець поршневий;

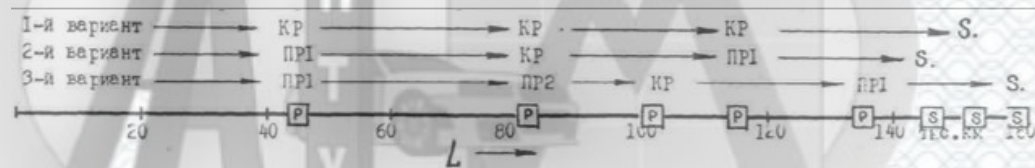
--- - недоцільне групування; —> - доцільне групування

# Формування структури і періодичності планово - запобіжного ремонту двигунів ЯМЗ-238

а) Оптимальне групування деталей з урахуванням їх повторної заміни




б) Варіанти ремонту і їх періодичність



в) Оптимальна структура і періодичність ремонту двигуна



1 - блок циліндрів; 2 - головка циліндрів; 3 - клапана; 4 - вал колінчастий, 5 - вкладиші шатунні; 6 - шатун;  
7 - вал розподільний; 8 - поршень; 9 - гільза циліндрів; 10 - кільця поршневі; 11 - палець поршневий; P -  
ремонтний вплив; ПР1 - попереджувальний ремонт № 1; ПР2 - попереджувальний ремонт № 2; S - списання  
двигуна;  - повторна заміна деталей

## Основні показники ремонтпридатності двигунів ЯМЗ-238

Структура ремонтів	Середній ресурс двигуна за весь його термін служби, тис. км	Середня вартість двигуна	сумарна ремонтів	Питома вартість ремонтів двигуна, грн. / км
КР - КР - КР	153,0	1527000		9,98
ПР1 - КР - ПР1	146,0	1181000		8,09
ПР1 - ПР2 - КР - ПР1	165,5	1435000		8,67

Вихідні дані для розрахунку економічної ефективності  
 планово - запобіжного ремонту двигуна ЯМЗ-238 від  
 впровадження нової системи планово - запобіжного ремонту

Показники	Позначення	Базовий варіант	Пропонований варіант
Витрати на ремонт, грн.	З	1432500	1179600
Втрати прибутку від простоїв у ремонті, грн.	d	604800	302400
Витрати на транспортування, грн.	З <sub>тр</sub>	10200	5400
Втрати від недовикористання ресурсу деталей, грн.	q	0	199400

Річний економічний ефект склав 83400грн.