

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ**

**Інженерно-технологічний факультет**

Кафедра інжинірингу технічних систем

**П О Я С Н Ю В А Л Ь Н А   З А П И С К А**

до дипломної роботи

освітнього ступеня "Магістр"

на тему:

**ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ВІБРОАКУСТИЧНОГО  
МЕТОДУ ДІАГНОСТУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ДВИГУНІВ  
ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРАННЯ**

**Виконав:** студент 2 курсу, групи МГМ-1-21  
за спеціальністю 208 "Агроінженерія"

\_\_\_\_\_ Мурич Анатолій Вікторович

**Керівник:** \_\_\_\_\_ Толстенко Олександр Васильович

**Рецензент:** \_\_\_\_\_

Дніпро 2022

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра: Інжинірингу технічних систем

Освітній ступінь: "Магістр"

Спеціальність: 208 "Агроінженерія"

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри

ІТС

(назва кафедри)

К.Т.Н. ДОЦЕНТ

(вчене звання)

Дудін В.Ю.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

„\_\_\_\_\_” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**З А В Д А Н Н Я  
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Муричу Анатолію Вікторовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Обґрунтування параметрів віброакустичного методу діагностування технічного стану двигунів внутрішнього згорання

Керівник роботи к.т.н, доц. Толстенко О.В.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від

“18” жовтня 2022 року № 3008

2. Строк подання студентом роботи до 1.12.2022

3. Вихідні дані до роботи Методи діагностування технічного стану дизельних двигунів. Показники надійності роботи двигунів. Стан охорони праці в господарстві, що являється базовим. Показники ефективності роботи базового господарства.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Аналіз базового підприємства та методів і засобів діагностування. 2. Аналіз надійності та динаміка двигуна і формування вібрацій в зоні циліндрів. 3. Результати експериментальних досліджень. 4. Охорона праці. 5. Економічна частина. Висновки по роботі. Бібліографія



## РЕФЕРАТ

Магістерська робота присвячена проведенню діагностування дизельних двигунів за рахунок впровадження віброакустичного моніторингу технічного стану механізмів та деталей дизельних двигунів.

Проаналізовано існуючі методи діагностування і обґрунтовано ефективні.

Проведено теоретичні і експериментальні дослідження коливань які виникають у двигунах внаслідок зносу чи роз регулювання.

Магістерська робота включає пояснювальну записку об'ємом 77 сторінок та демонстраційний матеріал у вигляді 12 слайдів.

Ключові слова - РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ, ДІАГНОСТУВАННЯ, ОРГАНІЗАЦІЯ ТО І РЕМОНТУ, ВІБРАЦІЇ, СИСТЕМА ТО і т.д.

## ЗМІСТ

Вступ.....	7
Розділ 1. Аналіз базового підприємства та методів і засобів діагностування.	11
1.1. Коротка характеристика підприємства.....	11
1.2. Аналіз методів та способів діагностування.....	14
1.3. Обґрунтування ефективних методів діагностування агрегатів мобільних сільськогосподарських машин.....	26
1.4. Об'єкт дослідження та його характеристика.....	30
1.5. Загальні висновки та задачі досліджень.....	33
Розділ 2. Аналіз надійності та динаміка двигуна і формування вібрацій в зоні циліндрів.....	34
2.1. Аналіз надійності двигунів та кількісна оцінка дефектів і відмов нових і відремонтованих автотракторних двигунів.....	34
2.2. Динаміка двигуна та формування вібрацій в зоні циліндрів.....	44
2.3. Висновок.....	50
Розділ 3. Результати експериментальних досліджень.....	51
3.1. Обладнання та методика проведення досліджень.....	51
3.2. Дослідження спектру сигналу від довжини реалізації.....	53
3.3. Визначення діагностичних ознак кривих віброприскорення в залежності від роз регулювань паливної апаратури.....	55
3.4. Висновок.....	57
Розділ 4. Охорона праці.....	58
4.1. Огляд служби охорони праці підприємстві.....	58
4.2. Дослідження виробничого травматизму.....	59
4.3. Заходи поліпшення умов праці на підприємстві.....	61

4.4. Висновок.....	63
Розділ 5. Економічна частина роботи.....	64
Висновки по роботі.....	72
Бібліографія.....	74

## ВСТУП

В сільськогосподарському виробництві підвищенню надійності машин та агрегатів і покращенню їх роботоздатності приділяється виключно велике значення. Це пояснюється тим, що машини, трактори, комбайни, сільськогосподарські агрегати діють на живе навколишнє середовище, стан якого постійно змінюється. Тому механізми, агрегати та машини постійно реагують на ці зміни, що призводить до інтенсивного зносу деталей, їх відказів та поломок агрегатів в цілому.

Не дивлячись на те, що сучасні машини мають досить високий рівень надійності, особливо це стосується машин закордонного виробництва, все ж таки досить часто трапляються відмови. Закордонним тракторам і комбайнам також вже в середньому 12 років і вони ламаються, особливо у післяремонтний період [1, 2]. Також Україна сьогодні наприклад на 50 % забезпечена зернозбиральними комбайнами тому тим машинам, що працюють необхідно виконувати вдвічі більші об'єми робіт, а це також суттєво впливає на надійність [3].

На жаль в Україні майже відсутні підприємства з повним циклом капітального ремонту машини, а ті що є виконують тільки ремонт агрегатів, також вартість капітального ремонту повнокомплектної машини досить висока і більшість власників свідомо йдуть на виконання тільки певного виду ремонту і тільки агрегату, що вийшов з ладу. Цей фактор суттєво погіршує надійність машин бо відомо, що надійність машини відповідає надійності самого ненадійного елемента.

Виявлення несправності та визначення ненадійного елемента задача технічної діагностики.

Діагностика машин і встаткування по вібрації містить у собі кілька різних напрямків, що розбудовуються різними темпами. Частина із цих напрямків використовує результати аналізу вібрації встаткування або його вузлів у непрацюючому стані. Для порушення вібрації в цих випадках використовую-

ться спеціальні джерела коливальних сил з повністю відомими характеристиками, а предметом вивчення й джерелом діагностичної інформації є властивості коливальної системи. Одним з таких напрямків є акустична дефектоскопія, що використовує джерела коливальних сил ультразвукового діапазону частот, що й аналізує особливості поширення й поглинання вібраційних хвиль у металевих конструкціях найпростішої форми. Другим напрямком є модальний аналіз коливань устаткування й конструкцій на різних, переважно резонансних, частотах, що дозволяє визначити форму й швидкість загасання коливань.

Більшість сучасних методів вібраційної діагностики базується на аналізі вібрації працюючих машин і встаткування. Ці методи становлять основу функціональної (робочої) діагностики, незважаючи на те, що режими роботи встаткування можуть бути самими різними - від, що встановилися (номінальних або спеціальних) до перехідних, у тому числі пускових, імпульсних і т.п. У функціональній діагностиці машин і встаткування по вібрації використовується інформація, що втримується в характеристиках коливальних сил і властивостях коливальної системи. І оскільки до початку аналізу вібрації працюючого встаткування, як правило, немає досить точної інформації ні про коливальні сили, ні про коливальну систему, у функціональній діагностиці максимальний результат дають самі складні методи аналізу вібрації функцією, що є, параметрів коливальних сил і властивостей коливальної системи.

Багаторічні дослідження вібрації машин і встаткування різного призначення показують, що найбільш складну структуру мають коливальні сили, при описі яких, на відміну від коливальної системи, не можна обмежуватися тільки лінійними моделями. Більше того, аналіз нелінійних процесів формування коливальних сил дає максимальну діагностичну інформацію про стан вузлів - джерел таких сил. Саме із цієї причини часто доводиться розробляти й застосовувати вузько спеціалізовані методи й алгоритми аналізу сигналів



вібрації працюючого встаткування, які дозволяють оптимізувати завдання пошуку конкретних видів дефектів у конкретних типах устаткування.

Вібрація, вимірювана в контрольних крапках працюючого встаткування, є результатом дії коливальних сил у різних вузлах устаткування на механічну коливальну систему з різними передатними характеристиками від кожного із джерел коливальних сил до кожної крапки контролю вібрації. У найбільш загальному виді коливальні сили описуються сумою періодичних, випадкових і ударних складових, а передатні характеристики - амплітудно-частотними й фазочастотними компонентами. Природно, що максимальний обсяг діагностичної інформації, що втримується в структурі коливальних сил, можна одержати, лише розділивши сигнал на складові (періодичні, випадкові й ударні) і аналізуючи кожен з них окремо, з урахуванням передатних характеристик коливальної системи. Практичний розв'язок подібного завдання настільки складно, що доводиться розглядати лише її окремі випадки.

Найбільша кількість невирішених діагностичних завдань визначається складністю аналізу властивостей коливальних сил по середньочастотній вібрації, де порівнянний по величині внесок дають періодичні, випадкові й ударні сили, а коливальна система має велику кількість резонансів досить високої добротності. Особливо це відноситься до поршневих машин, у яких сили ударного походження максимальні. Труднощі аналізу середньочастотної вібрації обмежують і можливості діагностики компактних машин великої питомої потужності, наприклад авіаційних двигунів, у яких через неприступність багатьох вузлів і, насамперед, підшипників, для прямого виміру високочастотної вібрації, неможливо одержати діагностичну інформацію про початок розвитку багатьох видів дефектів.

Сказане не є істотною перешкодою для розвитку вібраційної діагностики таких машин. Але для збільшення обсягу одержуваної із сигналу вібрації діагностичної інформації необхідно освоювати більш складні методи аналізу сигналів. Підтвердженням правильності такого шляху розвитку є те, що для

якісного аналізу складних сигналів у звуковому діапазоні частот уже багато десятиліть досвідчені діагности використовують органи слуху, які, зокрема, дозволяють виявити навіть слабкі складові вібрації (шуму) ударного походження на тлі інтенсивних стаціонарних складових у тому ж діапазоні частот.

Прогрес вібраційної діагностики в істотному ступені залежить від вибору всієї сукупності методів і засобів аналізу сигналів, використовуваних для постановки діагнозу в кожного виду машин і встаткування. У зв'язку із цим у справжній публікації приводиться короткий опис кожного із застосовуваних у вібраційній діагностиці методів аналізу сигналів і областей їх використання.

**Апробація роботи.** Мурич А. В. Огляд перспективних методів діагностування технічного стану деталей двигунів внутрішнього згорання / Мурич А.В. // Матеріали науково-практичної конференції. ДДАЕУ. Дніпро. 2022 – 46 – 49 с.

# РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ БАЗОВОГО ПІДПРИЄМСТВА ТА МЕТОДІВ І ЗАСОБІВ ДІАГНОСТУВАННЯ

## 1.1. Коротка характеристика підприємства

Компанія "Дніпромехбудтранс" виконує багато замовлень для сільсько-господарських підприємств, а саме будівництво елеваторів, ангарів, овоче-сховищ та інше.

Виконуємо наступні види загальнобудівельних робіт :

- земляні роботи ( розробка ґрунту , розбивка , планування , геодезичні роботи);
- монолітні бетонні та залізобетонні роботи ( влаштування фундаментів, каркасів будівель будь-якої складності , монолітних стін , поясів , перекриттів , майданчиків , доріг ) ;
- пальові роботи (пристрій буроін'єкційних паль);
- кладка стін і перегородок ;
- покрівельні роботи ;
- фасадні роботи .

Компанія має значний парк техніки і окрім власного використання надає в оренду будівельну спецтехніку .

При передачі будівельної техніки в оренду компанія ЮВСК :

- забезпечує орендаря кваліфікованим персоналом на весь термін оренди;
- виробляє сервісне обслуговування;
- забезпечує проектний супровід .
- готує дозвільну документацію

Рухомий склад підприємства нараховує 58 одиниць автомобілів та 25 одиниць тракторів і спецтехніки таблиця 1.1.

Таблиця 1.1- Рухомий склад підприємства

№	Марка	Кількість, шт
1	МАЗ 6429	6
2	КамАЗ 6520	14
3	КрАЗ 65055-060-02	12
4	ГАЗель 3302	15
5	ГАЗ 53	4
6	ЗИЛ 130	4
7	Автокран Zoomlion QY30V 32 т	3
8	Комatsu D355	5
9	МТЗ-82	6
10	Навантажувач Hyundai HSL 850-7	5
11	Екскатор Hyundai R110-7	5
12	Бурова установка SANY SR250M	4

Компанія має значну земельну ділянку на якій розташовано промислові будівлі та автопарк. Площа ділянки становить 12000 м<sup>2</sup>. І має розміри 100х120 м.

Також компанія займається реалізацією електроприладів, починаючи з електродротів і закінчуючи потужними електродвигунами до ліфтів та іншого промислового обладнання.

Підприємство має підсобне господарство у вигляді відокремленого підрозділу, яке знаходиться у Павлоградському районі, а саме ТОВ "Суворова". Товариство з обмеженою відповідальністю «Суворова» розташоване в східній частині Павлоградського району Дніпропетровської області. Центральна садиба господарства знаходиться в селі Нова Дача, яке віддалене від районного центру на відстань 40 кілометрів, від найближчої залізничної станції м. Тернівка на 15 кілометрів.

ТОВ «Суворова» спеціалізується на вирощуванні зернових і технічних культур таких як пшениця, ячмінь, кукурудза та соняшник.

Матеріально-технічна база господарства

Автотракторний парк ТОВ «Суворова» в своєму складі нараховує 17 тракторів, 5 комбайни, 13 вантажних автомобілів весь перелік необхідних сільськогосподарських знарядь. Загальний склад машино-тракторного парку за марками наведено в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Склад машино-тракторного парку ТОВ «Суворова»

Марка машини	Кількість, шт.
<b>ТРАКТОРИ</b>	
К-700	1
Т-150 (1 трактор з двигуном Камінз)	2
МТЗ-80/82/892	3/8/2
Atles-946	1
<b>КОМБАЙНИ</b>	
ДОН-1500	1
CLAAS mega 360	2
CLAAS medion 310	2
<b>АВТОМОБІЛІ</b>	
КамАЗ	2
ГАЗ-53	9
КрАЗ	2
ВАЗ (НИВА)	1
УАЗ	1
<b>ПЛУГИ</b>	
ПЛН-8-35	1
ПЛН-5-35	8
ПЛН-3-35	6

КУЛЬТИВАТОРИ	
КПС-4	7
КРН-5,6	4
БОРОНИ	
БДТ-7	2
БЗСС-1	25
СІВАЛКИ	
СЗ-3,6	7
УПС-8	2
СУПН-8	4
МАШИНИ ДЛЯ ЗАХИСТУ РОСЛИН	
ОП-2000	1
Оприскувач PRIMUS 25/28	1

Аналіз складу машино-тракторного парку ТОВ «Суворова» показав що основний упор господарства спрямований на використання вітчизняної техніки (віком більше 10 років), це обумовлено порівняно невисокою її вартістю і тому необхідно приділяти особливу увагу технічному обслуговуванню та ремонту наявної техніки.

Звісно власної техніки не вистачає особливо в період збирання врожаю тому господарство залучає автомобілі Дніпромехбудтрансу.

## **1.2. Аналіз методів та способів діагностування**

До основних показників двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ) відносяться: потужність, крутний момент і витрата палива. При експлуатації згодом відбувається зміна регульовальних параметрів, виникають несправності, які супроводжуються зменшенням потужності й збільшенням витрати палива [4-8].

Основною причиною виникнення несправностей деталей ДВЗ є зношування, внаслідок чого змінюється їхня геометрія, збільшуються зазори між парами тертя. На збільшення зношування впливає безліч факторів: стиль водіння, умови експлуатації, несвоєчасне або/і некваліфіковане обслуговування, низька якість пально-мастильних матеріалів, робота з детонацією, калільним запалюванням, несправними системами змащення й охолодження й т.п. [9, 10]. Як наслідок, ростуть експлуатаційні витрати й проблеми в роботі. Експлуатація зношеного двигуна приведе до його ушкодження, а ремонт двигуна ушкодження, що одержало, вимагає більших капітальних вкладень.

Для виявлення несправностей необхідне проведення діагностичних робіт. При проведенні діагностичних робіт важливе виявлення всіх можливих причин несправності, враховуючи принцип «від простого до складного». Проходження цьому принципу дозволить скоротити час і витрати й уникнути помилок.

Існує безліч методів і способів безрозбірної діагностики ДВЗ [3]:

- 1. Тепловий контроль - заснований на вимірі, моніторингу й аналізі температури контрольованих об'єктів. Процес передачі теплової енергії, виділення й поглинання тепла в об'єкті приводить до того, що його температура змінюється щодо навколишнього середовища. Розподіл температури по поверхні об'єкта є основним параметром у тепловому методі, тому що несе інформацію про процес теплопередачі, його внутрішній структурі й наявності схованих внутрішніх дефектів. Для одержання детальних теплограмм працюючих агрегатів застосовуються мобільні тепловізорні камери (рис. 1.1);

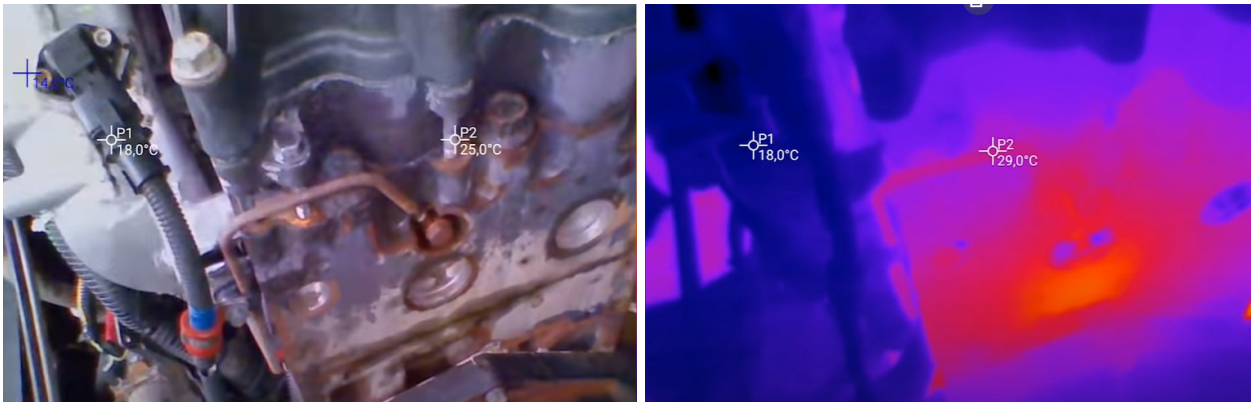


Рис. 1.1. Тепловізорна діагностика

- 2. Комп'ютерне діагностування - підключення до електронного блоку керування зовнішнього комп'ютера (мотор-тестер і сканер). З його допомогою зчитуються коди помилок, значення сигналів з різних датчиків і процесора керування [4] (рис. 1.2);



Рис. 1.2. Комп'ютерна діагностика тракторного двигуна

- 3. Аналіз складу й кількості відпрацьованих газів (ВГ) - дозволяє зробити висновок про характер і умови протікання процесу згоряння, а за значенням коефіцієнта надлишку повітря оцінити максимально припустиме зношування деталей ЦПГ (рис.1.3);





Рис. 1.3. Аналіз відпрацьованих газів

- 4. Технічне ендоскопіювання - перевірка технічного стану вузлів і деталей, що мають важкий доступ до них (наприклад, камеру згоряння через отвори свічок запалювання [11] (рис. 1.4);



Рис. 1.4. Ендоскопіювання циліндрів двигуна

- 5. Забір компресії - призначений для виміру й контролю компресії в циліндрах бензинових двигунів внутрішнього згоряння легкових ма-

шин, вантажівок і мотоциклів. Виміри проводяться на прогрітому двигуні, через отвори для свічок запалювання (рис. 1.5);

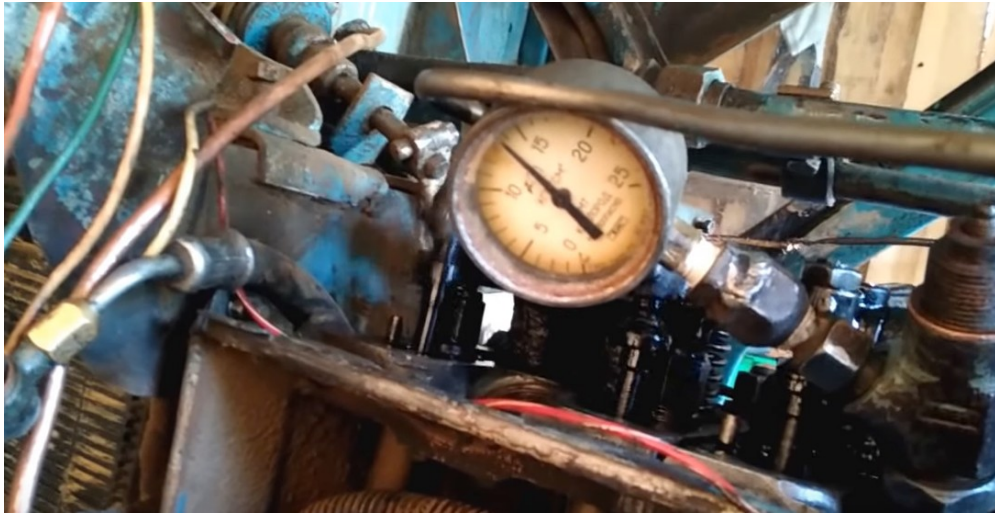


Рис. 1.5. Забір компресії

- 6. Аналіз хімічних елементів - визначення вмісту хімічних елементів у різних речовинах, що перебувають у твердому, порошкоподібному або розчиненому станах, а також нанесених на поверхні й обложених на фільтри (рис. 1.6);

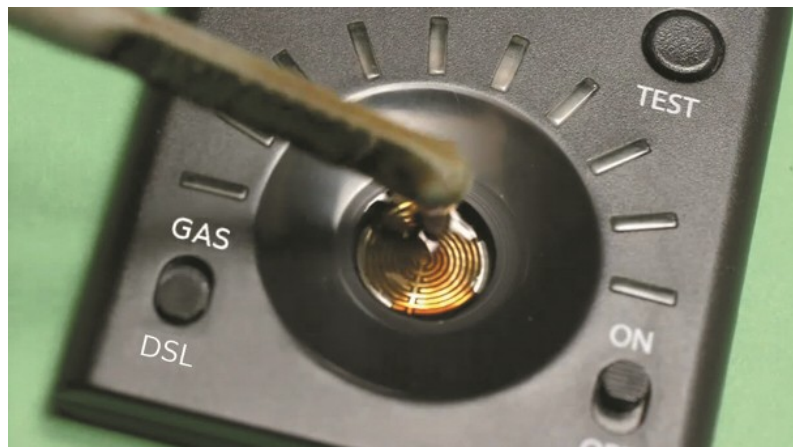


Рис. 1.6. Аналіз моторного масла

- 7. Віброакустичний - фіксування й відповідна обробка параметрів вібрації, що виникають при роботі контрольної групи (рис. 1.7).

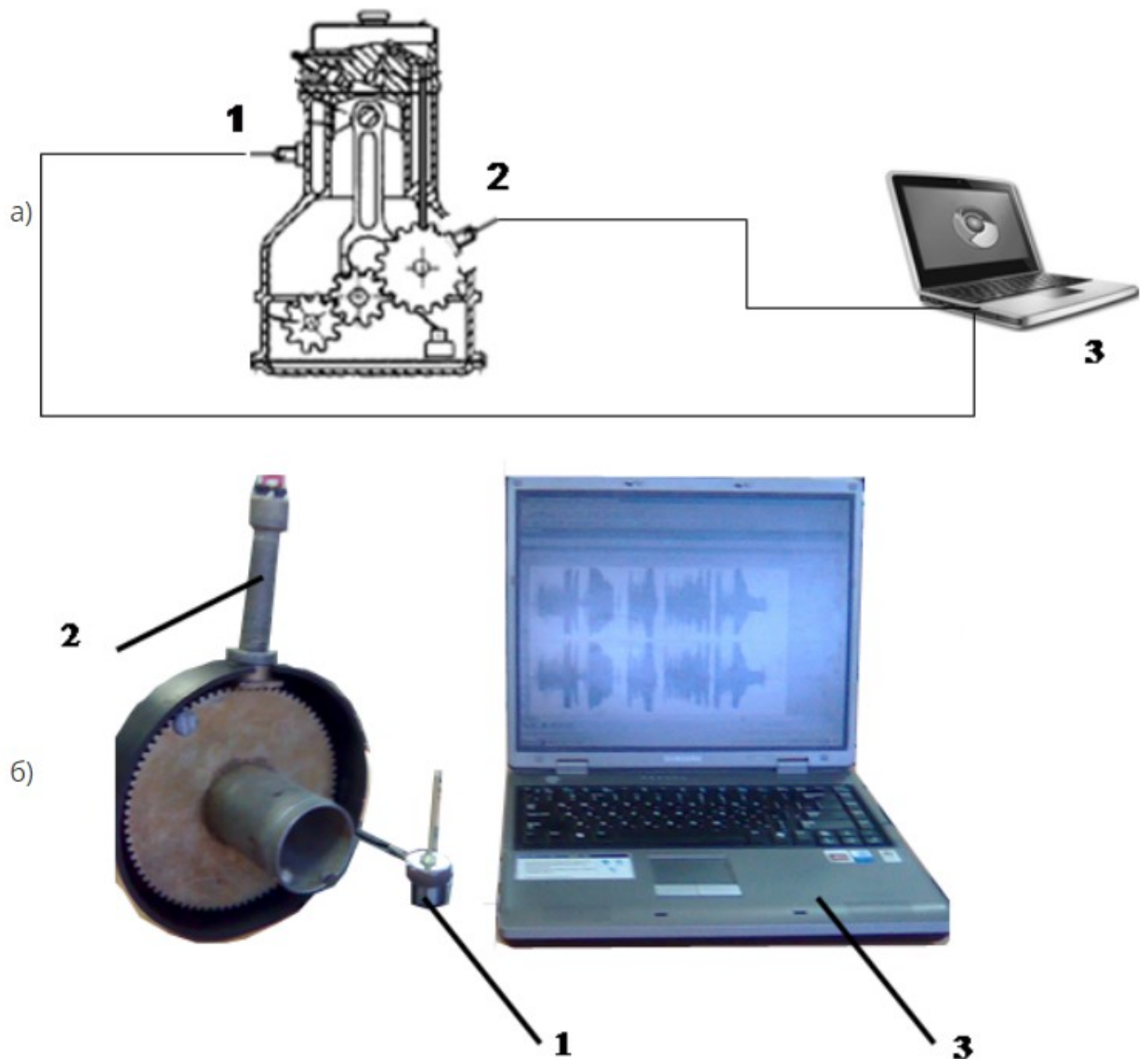


Рис. 1.7. Виброакустическая діагностика

1 – датчик вібрації, 2 – датчик частоти та положення поршня відносно ВМТ,  
3 – ПЕОМ

Методи технічного діагностування, що не вимагають розбирання двигуна, зарекомендували себе як універсальні й оперативні, що дозволяють комплексно оцінити стан ДВЗ. Проведений аналіз по різних параметрах перерахованих методів і способів діагностування зведемо в таблицю 1.3.

Таблиця 1.3 - Аналіз методів діагностування ДВЗ по параметрах

Метод параметри	Тепловий контроль	Комп'ютерна діагностика	Аналіз ВГ	Технічне ендоскопіювання	Контроль компресії	Аналіз хімічних елементів	Віброакустичний
Вартість послуг, грн.	від 200 до 3500						
Устаткування вартість, грн.	Тепловізор від 13300	Сканер (Мотортестер) від 10000 (49750)	Газоаналізатор від 12900	Відеоскоп від 1500	Компресіometr від 300	Спектрограф від 30000	Віброметри від 16000
Тривалість процедури <sup>1</sup> , хв	від 10 - 30						
Інформативність	Висока	Висока	Середня	Висока	Мінімальна	Середня	Висока
Вимоги до персоналу	Середні	Середні	Мінімальні	Мінімальні	Мінімальні	Високі	Середні

Провівши аналіз таблиці, можна зробити наступні висновки по розглянутих методах:

- 1. Теплова діагностика - є досить перспективним методом у силу високої інформативності. Важливо, що розроблені засоби діагностики до-

звояють прямо виявляти дефекти й прогнозувати їхній розвиток у процесі перевірки двигуна. Існуючі методи обробки інфрачервоного термометрування дають можливість прогнозувати конкретні несправності. У якості недоліку можна віднести, що для повного діагностування необхідно витягти двигун із ТС і встановити на спеціальний стенд.

- 2. Комп'ютерна діагностика - процедура дозволяє за кілька хвилин скласти список виявлених поломок і навіть визначити ділянки, здатні стати причиною втрати автомобілем експлуатаційних якостей у майбутньому [8]. Точність діагностики виключає помилки при ремонті й максимально скорочує строки його проведення.

- 3. Аналіз ВГ - одержання однозначних результатів вимагає строго дотримання методики проведення випробувань і високої точності виміру викиду токсичних речовин у ВГ. Точність виміру об'ємного вмісту токсичних речовин є найбільш відповідальним моментом при оцінці токсичності ВГ. Похибка виміру величину - 0,2% за обсягом приводить до помилки 15-20% при визначенні маси зазначеного компонента, що викидається за їздовий цикл. Тому апаратура для проведення газового аналізу повинна мати високу точність, швидкість і безперервність проведення газового аналізу.

- 4. Технічне ендоскопіювання - інформативність розглянутого методу досить висока. Розглянуті засоби контролю добре зарекомендували себе в експлуатації.

- 5. Контроль компресії - підставою для виміру компресії є ознаки відповідних несправностей: зношування або поломка деталей циліндропоршневої групи, негерметичність клапанів, прогоряння прокладки головки блоку й ін. Таким чином, вимір компресії дозволить підтвердити або спростувати підозри щодо неполадок.

- 6. Аналіз хімічних елементів - застосування методу обмежене необхідністю фахівців, що мають спеціальне (хімічне) обладнання і спеціальної підготовки двигуна перед випробуваннями. Метод дозволяє оцінювати

зношування тільки однієї деталі (або групи деталей). Одночасне роздільне визначення зношування декількох деталей досить складно.

- 7. Віброакустичний метод - базується на загальних принципах діагностики технічних систем по непрямим параметрам. До того ж область їх застосування обмежена можливістю доступу до двигуна, а також недосконалістю засобів діагностування й математичних моделей, що зв'язують структурні параметри з діагностичними ознаками. Проте, у ряді випадків, можна одержати кількісну оцінку запасу працездатності вузлів двигуна за результатами виміру віброакустичних сигналів, що дозволяє прогнозувати величини залишкових ресурсів елементів двигуна.

Більшість розглянутих методів мають малу інформативність, по деяких параметрах складно встановити точну причину несправності. Відносно різноманіття методів пояснюється тим, що жоден з них не дозволяє врахувати всі вимоги, пропоновані до формування діагнозу з 100% вірогідністю, оскільки вони несуть специфічну інформацію різної цінності. Жоден з методів не дозволяє оцінити стан двигуна з достатнім ступенем деталізації. За допомогою комбінації ряду методів можна здійснити більш глибокий контроль, однак це часто вимагає спеціальних умов і тривалого часу.

Для діагностики двигунів доцільно використовувати параметри, що володіють максимальною інформативністю, що доповнюють і уточнюють один одного. Таким чином, завдання оцінки інформаційного потенціалу параметрів, використовуваних для цілей діагностики ДВЗ, є на сьогоднішній день дуже актуальною.

Методи діагностування наведені на рис. 1.1.

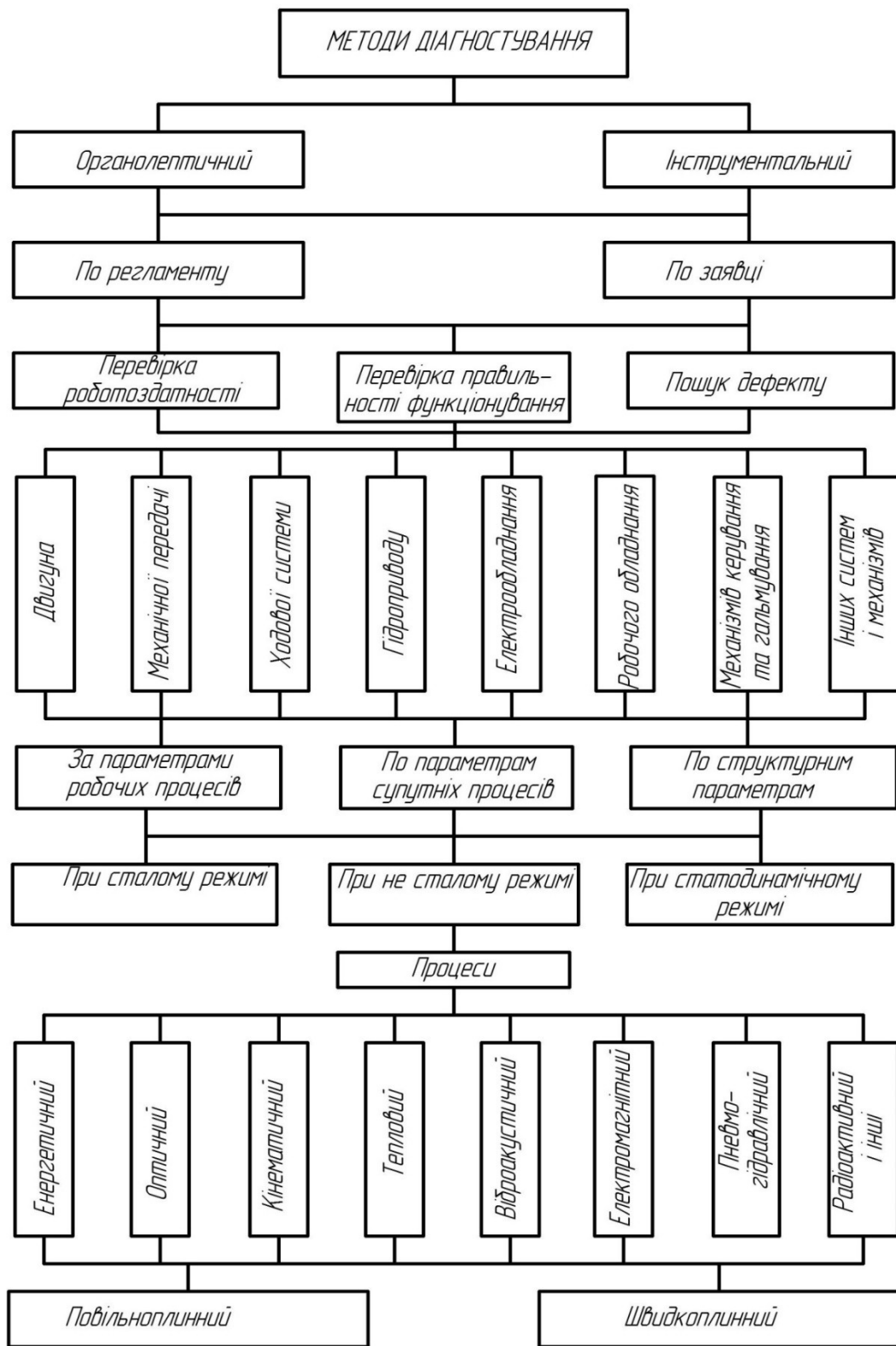


Рис. 1.1. Класифікація методів діагностування

Таблиця 1.1-Класифікація діагностичних параметрів

Класи параметрів	Підкласи параметрів	Класифікаційні ознаки	Назва груп параметрів
1	2	3	4
Функціональні	-	За проявленням наслідків відхилень параметра від номінального значення За взаємозв'язком з роботоздатністю складових частин	СПОЖИВЧІ Внутрішньомашинні  Узагальнені (багатопрічинні) Однопрічинні
Технічні	Прямі (структурні) Не прямі, не конструктивних складових частин Не прямі, конструктивних складових частин	За типом контролюючого параметру За типом контролюючого параметру  По оцінюючій властивості механізму або системи За можливими наслідками відхилення параметра від ном. значення	Параметри робочих поверхонь. Зазори в спряженнях. Пружність, герметичність. Затягування, регулювання, рівні робочих рідин. Параметри герметичності робочих об'ємів, робочих процесів, вібрації та шуму Параметри безпеки, техніко-



			економічні параметри
--	--	--	-------------------------

Розглянемо засоби функціональної діагностики.

Відомий вологомір, працюючий по принципу реєстрації зміни тиску водяних парів в закритому сосуді з пробєю масла при його нагріванні. Недолік вологоміра-складність.

В Англії розроблений малогабаритний датчик з джерелом світла і детектором, екранованими один від іншого. Датчик опускається через отвір для щупа. Промені світла, які проходять через синій світлофільтр джерела, поглинаються маслом, але відбиваються водою. По даним відбитим променем, який реєструється детектором, і роблять висновки про наявність води. Точність подібних способів, як правило, висока.

Серійно випускається і використовується в громадській авіації прилад ПОЗ-Т, для контролю чистоти авіаційного палива. Паливо фільтрується крізь високопористий матеріал, затримуючи частинки розміром не менше чим 2-3 мікрона. Для виявлення води фільтр обробляється високочутливими солями, які змінюють колір при контакті з водою. Відпрацьовується методика контролю масла аналогічними способами.

Усі фізичні процеси в механізмах і системах машин супроводжуються коливаннями. У поршневому двигуні внутрішнього згоряння вібрації формуються конструктивними елементами (системами і механізмами) і процесами, що в них протікають (кривошипно-шатунним і газорозподільним механізмами, системою живлення, процесами впуску і випуску, згоряння, а також різними допоміжними механізмами. Від неврівноваженості відцентрових й інерційних сил мас, що здійснюють поступальний і обертовий рух двигун коливається щодо остова з частотою, кратною частоті обертання колінчатого вала. Найбільш важливі з погляду віброакустичної діагностики пружні коливання від ударів сполучених деталей [1, 14].

### **1.3. Обґрунтування ефективних методів діагностування агрегатів мобільних сільськогосподарських машин**

В сільськогосподарському виробництві підвищенню надійності машин та агрегатів і покращенню їх роботоздатності приділяється виключно велике значення. Це пояснюється тим, що машини, трактори, комбайни, сільськогосподарські агрегати діють на живе навколишнє середовище, стан якого постійно змінюється. Тому механізми, агрегати та машини постійно реагують на ці зміни, що призводить до інтенсивного зносу деталей, їх відказів та поломок агрегатів в цілому.

Не дивлячись на те, що сучасні машини мають досить високий рівень надійності, особливо це стосується машин закордонного виробництва, все ж таки досить часто трапляються відмови. І сьогодні коли на полях імпортований трактор чи комбайн не дивина, вони теж виходять з ладу, так як їх середній вік становить 10...15 років, і звісно за такий час експлуатації надійність машини значно знижується, особливо у післяремонтний період [15, 16]. Також Україна сьогодні наприклад на 50 % забезпечена зернозбиральними комбайнами тому тим машинам, що працюють необхідно виконувати вдвічі більші об'єми робіт, а це також суттєво впливає на надійність [17].

Нажаль в Україні майже відсутні підприємства з повним циклом капітального ремонту машини, а ті що є виконують тільки ремонт агрегатів, також вартість капітального ремонту повнокомплектної машини досить висока і більшість власників свідомо йдуть на виконання тільки певного виду ремонту і тільки агрегату, що вийшов з ладу. Цей фактор суттєво погіршує надійність машин бо відомо, що надійність машини відповідає надійності самого ненадійного елемента.

Згідно наших досліджень близько 70...75 % відмов в доремонтний період машини виникає з вини власника чи людини яка керує машиною див. рис. 1.5 [18].

В післяремонтний період виникає дещо перерозподіл відмов між експлуатаційними та технологічними відмовами, що пояснюється досить низькою культурою ремонту та якістю.

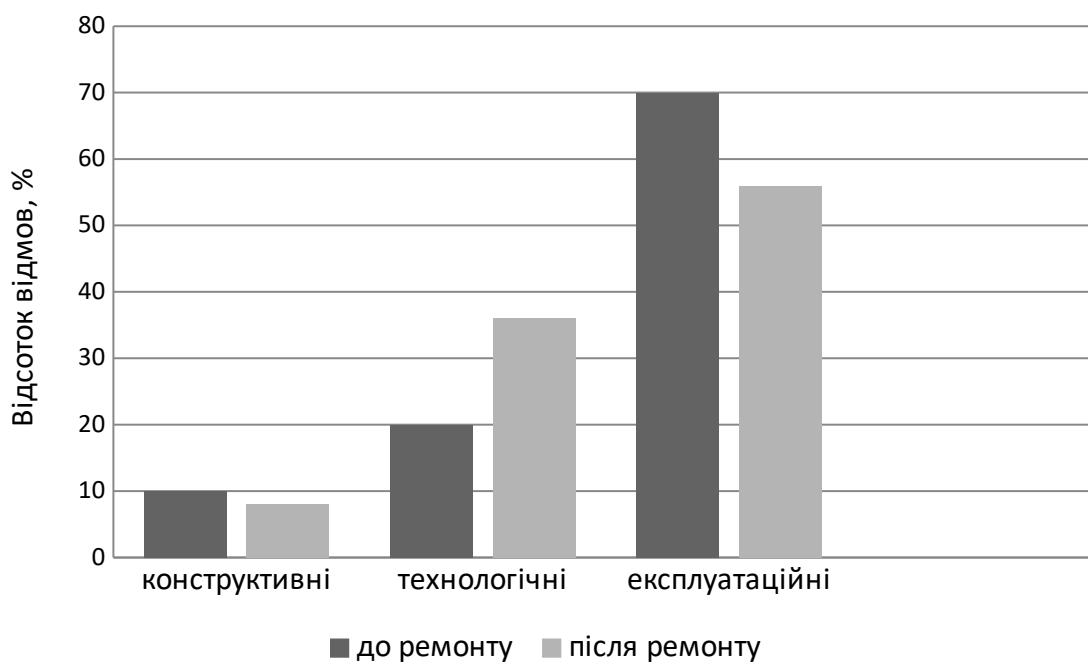


Рис. 1.5. Відмови машин

Усунення основних причин, які обумовлюють низьку післяремонтну надійність машин в умовах експлуатації, можливе за рахунок якісного і своєчасного виконання ремонтно-обслуговуючих робіт, передбачених планово-запобіжною системою ТО і ремонту [19]. Контроль проведення цих робіт покладається на систему діагностування агрегатів мобільних машин, основною задачею якої є: пошук несправностей.

При ресурсному і заявочному діагностуванні, визначення технічного стану основних спряжень агрегатів машин, що в першу чергу обумовлюють втрату роботоздатності агрегату та діагностування їх залишкового ресурсу.

Питання діагностування машин та окремих їх агрегатів розглядається в цілому в ряді робіт таких авторів як: И.А. Биргера, В.М. Михлина, Т.М. Ба-

шти, А.А. Камарова, Р.А. Макарова, Т.А. Сырицина, А.М. Харазова, А.М. Шолама, П.М. Черейського, та інших.

Отримані ними результати актуальні і мають важливе значення подальшого дослідження питань з діагностування машин та окремих їх вузлів. Проте питання діагностування машин в цілому та окремих агрегатів сільськогосподарської техніки розглянуті ними недостатньо особливо в плані використання сучасних технологій та обладнання.

Таким чином питання діагностування агрегатів с – г техніки з урахуванням загальних вимог погребують подальшого дослідження.

При діагностуванні машин і їх елементів використовуються слідуєчі методи: візуальний огляд, віброакустичний, термодинамічний, способи які базуються на аналізі гідродинамічних та перехідних процесів, а також виміру втрат та забруднення робочої рідини, гідравлічної та механічної потужностей, пульсації подачі та інші.

Віброакустичний метод діагностування. Віброакустична діагностика — галузь знань, що включає теорію й методи організації процесів розпізнавання технічних станів машин і механізмів за вихідною інформацією, що втримується у віброакустичному сигналі.

Віброакустичним сигналом називають фізичні величини, що характеризують механічні коливання, що супроводжують роботи технічного об'єкта. Характеристики віброакустичного сигналу, що містять інформацію про структурні параметри технічного стану об'єкта, є діагностичними параметрами стану.

Методи віброакустики відрізняються від багатьох, методів більшою універсальністю, миттєвою реакцією на незначні зміни в системах і механізмах машин. Різноманіття фізичної природи вібрацій, широкий частотний діапазон забезпечують високу інформативність енергетичних параметрів роботи агрегатів, технічний стан підшипників, зубчастих механізмів, циліндропоршневої групи, дозволяють контролювати якість виготовлення, ремонту, обкатування

машин, запобігати руйнуванням, що виявляються на ранній стадії дефекту, що зароджується.

Одним з найбільш ефективних способів оцінки вібраційних процесів стосовно до механічних систем є метод моделювання. У процесі побудови моделей визначають основні зв'язки складових частин і властиві об'єкту закономірності, відсіваються другорядні ознаки. Найбільш загальними по ступеню формалізації й зручними для формування методу діагностування машин служать математичні моделі.

### **Методи й засобу вібраційної діагностики**

Коливання електромеханічної системи під дією сил, що змушують, називаються змусеними. Коливання системи, що тривають після зняття сил, що змушують, називаються вільними й відбуваються під дією внутрішніх сил пружності, що утворювалися з накопичених системою кінетичної й потенційної енергій.

Основним завданням вібраційної діагностики є розпізнавання стану технічної системи в умовах експлуатації, коли одержання інформації вкрай затруднене. Часто зробити однозначний висновок не представляється можливим і доводиться використовувати статистичні методи [5].

Принцип діагностики полягає в тому, що оцінка технічного стану й виявлення можливих дефектів проводиться при віднесенні об'єкта діагностування до фіксованого (відомому) набору станів. Для розв'язку цього завдання формується перелік параметрів і вирішальних правил, що дозволяють одержати оцінку технічного стану й зробити виявлення можливих дефектів.

У якості вихідних даних для розв'язку діагностичних завдань використовуються безрозмірні діагностичні параметри, що характеризують стан вихідного об'єкта.

Узагальнений показник наявності дефекту формується у вигляді логікоалгебраїчних об'єднуючих виразів методами головного критерію (визначального параметра) або регресивного рівняння.

Формування узагальненого показника дефекту з декількох діагностичних параметрів проводиться з використанням логічних операцій типу «І» (на діагноз впливають обоє параметра) і «АБО» ( для постановки діагнозу використовується параметр із найбільшим значенням або вводяться вагові коефіцієнти). При цьому формування самих вирішальних правил (бази знань) проводиться з використанням методик виявлення дефектів, нагромадження й узагальнення експериментальних даних у процесі експлуатації системи.

Інші методи діагностування мають ряд недоліків котрі обмежують їх застосування.

#### **1.4. Об'єкт дослідження та його характеристика**

Об'єктом дослідження являється базовий двигун Д-240 та процеси які протікають в ньому за рахунок зношування деталей.

Чотирициліндрові чотиритактні дизельні двигуни Д-240 і їх модифікації призначали для установки на трактори тягового класу 14-20 кн; на сільськогосподарські, лісові, промислові машини й агрегати всілякого призначення.

Дизель Д-240 є базовою моделлю. У процесі подальшого розвитку самого цього мотора й тракторів МТЗ-80/82 з'явилися інші модифікації, які відрізняються від базової моделі регулюваннями по потужності й крутному моменту, комплектністю, системою пуску, конструкцією деяких окремих деталей. Залежно від призначення, дизелі цього сімейства могли комплектуватися додатковими складальними одиницями: пневмокомпресор, шестеренний насос підсилювача рульового керування із приводом, диски муфти зчеплення в зборі.

Дизелі Д-240 могли запускатися від електростартера або від пускового двигуна. Марка мотора із запуском від пускового двигуна мала літеру «Л»: Д-240 – з електростартером; Д-240Л – з пусковим двигуном.

Двигун Д-240 складається із блоку циліндрів, головки циліндрів, кривошипно-шатунного механізму, механізму газорозподілу; вузлів і агрегатів систем живлення, змащення, охолодження, пуску й електричного встаткування.

Таблиця 1.4-Двигун Д-240 технічні характеристики

Параметр	Показники
Силовий агрегат, кількість тактів	4
Суміш палива й повітря	Камера в поршні
Тиск упорскування пального (кгс·см <sup>3</sup> )	175-180
Циліндри, разом (шт.)	«4»
Положення циліндрів	вертикально, ряд
Об'єм агрегату (л.)	4,75
Порядок роботи	«1» + «3» + «4» + «2»
Циліндр, діаметр (мм.)	110
Поршень, хід (мм.)	125
Відношення повного об'єму до об'єму камери згорання	16
Потужність (к.с.)	80
Імпульс (кгс·м)	28
Вага двигуна Д 240 (кг.)	430
Ресурс (км.)	500000
Змащення	Система змащення (нагнітання + пари масла)
Моторне масло, об'єм (л.)	15
Масло	Літнє: М10Г, М10В; Зимове: М8Г, М8В, ДС-8

Охолодження	Рідиною, замкнене, вентиляція
Об'єм антифризу (л.)	19

За рахунок того, що технічні характеристики агрегату показували непогані параметри по потужності й динаміці, мотор часто використовують для переустаткування автомобілів ЗІЛ і ГАЗ.

### Переваги двигуна Д-240 (рис. 1.8)



Рис. 1.8. Двигун Д-240

Безумовно, випуск тисяч одиниць двигунів говорить про великий попит на дану модифікацію, виробник передбачив ряд систем і непогану потужність для використання на тракторах МТЗ. До основних переваг силової установки можна віднести:

- Висока потужність
- Довговічність ( при винному відході й своєчасному обслуговуванні)
- Довгоживучі корінні підшипники колінчатого вала
- Наявність гідромуфти як привода вентилятора охолодження



- Відсутність тріщин головки блоку циліндрів

Недоліки:

- Складність ремонту
- Для капітального ремонту необхідна велика кількість запчастин
- Вартість запчастин для капремонту
- Велика витрата палива

### **1.5. Загальні висновки та задачі досліджень**

Огляд існуючих методів діагностування двигунів внутрішнього згорання показує, що для визначення технічного стану його агрегатів без їх розбирання можна застосувати статопараметричний та термодинамічний методи діагностування, а от для діагностування технічного стану підшипникових вузлів двигуна трактора чи комбайна доцільно використовувати віброакустичний метод діагностування.

Їх реалізація дозволяє на початковій стадії експлуатації двигуна визначити технічний стан без демонтажу, що дозволить знизити трудомісткість діагностувальних робіт на 10 – 15%.

Метою роботи є удосконалення системи технічного обслуговування машин та створення надійної в експлуатації автоматизованої діагностичної установки для визначення технічного стану агрегатів машин віброакустичним методом.

У зв'язку з цим задачами нашої роботи є:

- Виконати детальний аналіз існуючих методів і засобів діагностування енергетичних засобів сільськогосподарської техніки, з метою виявлення найбільш раціональних технічних рішень для їх подальшої реалізації в об'єкті дослідження;

- Провести аналітичне дослідження надійності двигунів машинотракторного парку та зробити рекомендації щодо підвищення їх роботоздатності.

- Розробити математичну модель, яка пов'язує коливання блок-карте-

ру двигуна з розрегулюваннями паливної апаратури;

- Провести експериментальні дослідження залежності віброприскорення від розрегулювань паливної апаратури;

- розробити заходи з охорони праці;

- розрахувати економічну оцінку ефективності результатів роботи.

## РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ НАДІЙНОСТІ ТА ДИНАМІКА ДВИГУНА І ФОРМУВАННЯ ВІБРАЦІЙ В ЗОНІ ЦИЛІНДРІВ

### 2.1. Аналіз надійності двигунів та кількісна оцінка дефектів і відмов нових і відремонтованих автотракторних двигунів

Основні техніко-економічні показники вітчизняних двигунів перебувають на рівні кращих закордонних зразків [20, 21]. Ресурс до першого капітального ремонту, установлений заводом-виготовлювачем, становить 8000...9000 год, тобто при середньорічному наробітку 1000 год двигун повинен відробити без капітального ремонту 8...9 років - строк практично дорівнює амортизаційному строку служби машин і їх нормативам надійності [22].

Однак, у реальній експлуатації відбувається значне погіршення потужно - економічних показників двигунів.

Неправильно виконане обкатування нового й відремонтованого двигуна, порушення режимів роботи, порушення періодичності й повноти проведення робіт з технічного обслуговування й ремонту, застосування палива й мастильних матеріалів низької якості підвищують інтенсивність старіння, вимагають більших витрат на забезпечення працездатного стану машин і їх систем.

Характер розподілу відмов двигунів у гарантійний період експлуатації показує, що найбільша інтенсивність проявляється в початковий період експлуатації. За даними спостережень [22]. Відзначене збільшення відмов при наробітках 100...300 год надалі спостерігається зниження числа відмов (рис.2.1). Зокрема встановлене: у реальній експлуатації середній наробіток на складну відмову (II і III груп складності) нового двигуна майже у два рази нижче, чим у нормальній експлуатації, для відремонтованих - ця величина значно вище й має велике розсіювання, яке залежить не тільки від культури

експлуатації, але більшою мірою від якості ремонту.

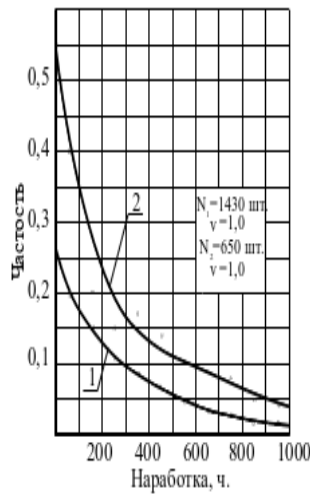


Рис. 2.1. Розподіл відмов двигунів Д-240 та Д-242 у гарантійний період експлуатації: 1- нових; 2 - відремонтованих

Застосування неякісних матеріалів, низька якість відновлюваних робочих поверхонь деталей, низька якість складальних операцій вузлів і агрегатів при ремонті й обкатування двигунів сприяють різкому прискоренню зношування деталей двигуна навіть зробленої конструкції.

Отримані дані показують, що в нормальній експлуатації, де дотримуються вимоги заводської інструкції наробіток на відмову значно вище. Найбільше число відмов відзначене по системах, які вимагають підвищеного уваги при проведенні заводського й експлуатаційного обкатування.

Це - система паливоподачі, система забезпечення повітрям, агрегати блок і головка циліндрів. Розподіл відмов по системах двигуна наведено на рис. 2.2.

Аналіз відмов двигунів по походженню [14] виявив наступну картину (табл. 2.1):

Таблиця 2.1 Аналіз відмов двигунів по походженню

	За даними		
	ОФ НАТИ	НИКТИД	ХНАДУ
Якість виготовлення й складання	48%	61%	55%
Конструктивна недосконалість	15%	3%	10%
Порушення правил експлуатації	37%	36%	35%

Очевидно, значна частина виникаючих відмов нових і відремонтованих двигунів могла б бути усунута за рахунок підвищення культури виробництва й експлуатації, або шляхом профілактичних заходів, проведених у процесі введення в експлуатацію. Відомо, що третьові поверхні деталей складових частин і складальних одиниць двигуна повинні бути підготовлені до сприйняття навантажень за допомогою їхнього обкатування. У процесі обкатування відбувається приробітку шорсткостей поверхонь до оптимальної, а також частково усуваються відхилення макрогеометрії [15, 23].

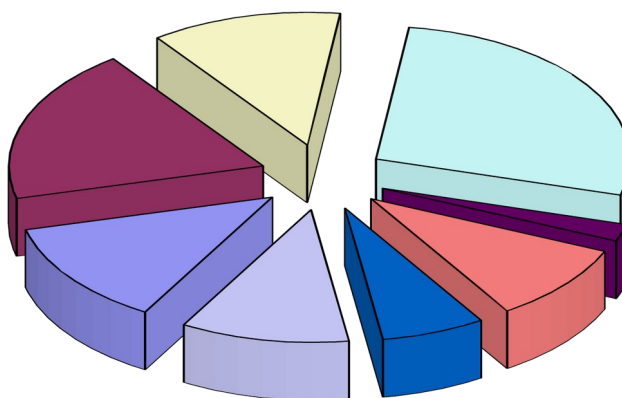


Рис.2.2. Розподіл відмов двигунів по системах:

1 - головка циліндрів; 2 - блок циліндрів; 3 - повітрязабезпечення; 4- паливоподачі; 5 - змащення; 6 - пуску; 7 – охолодження; 8 - муфта зчеплення

Проведені дослідження показують, що найбільше часто зустрічається дефект дизельних двигунів задири корінних і шатунних вкладишів, їх абразивне зношування. Близько 50% цих відмов виникає при наробітку 100 – 200 г.

Одна з основних причин цих дефектів - недотримання санітарної обробки деталей при виготовленні, порушення технології складання й випробувань (рис. 2.3).

Значне число відмов в умовах реальної експлуатації виникає через задирів і оплавлення поршнів. Ці відмови часто проявляються в початковий період експлуатації. Причиною тому можуть бути порушення правил обкатування двигунів, технології виготовлення й складання. Оплавлення днища поршня може викликати тривала робота з несправними форсунками.

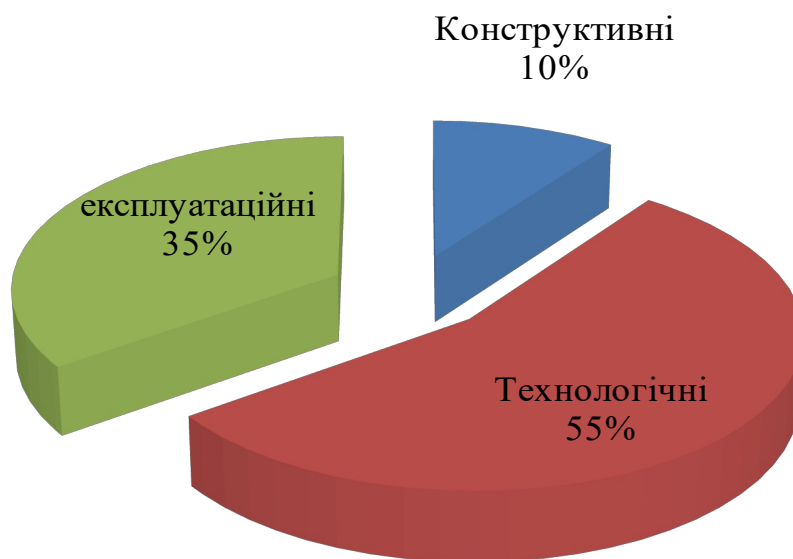


Рис. 2.3. Розподіл відмов двигунів Д-240

Найбільш характерними відмовами паливних насосів є заїдання плунжерів секції високого тиску, що й підкачує помпи, пов'язані з наявністю води в паливі. Крім того дефектом, що часто зустрічається, є порушення регулювань паливного насоса по куту упорскування, нерівномірності подачі

палива.

Про наявність тріщин і раковин корпусних деталей свідчить: влучення охолодної рідини в масло й масла в охолодну рідину; зовнішні течі або перетікання масла, палива, охолодної рідини в інші порожнини; порушення центрування двигуна, підвищення його вібрації.

По головці циліндрів найбільш характерними відмовами є: випадання сідла клапана, обривши напрямної втулки клапана, тріщини головки, які проявляються, як правило, при наробітку до 100 год і носять виробничий характер.

Обрив тарілки клапана спостерігається в експлуатації і є наслідком роботи двигуна зі збільшенням зазорів у клапанному механізмі.

Аналіз причин відмов двигунів Д-245 у гарантійний період їх експлуатації показав, що поява відмов може бути прихованою (тріщини, раковини й т. п.) або виявляються в процесі роботи машини по непрямим ознаках (підвищений шум, стукіт, вібрація й т. п.), або можуть бути виявлені візуальним контролем.

Частина з них (I групи складності - 11,3%, II групи складності - 30%, III групи складності - 6,5%), що виникають при різних наробітках машини, можна виявити й усунути при вхідному контролі її комплектності, тобто коли машина ще не працює. Як правило, причинами виникнення цих відмов є порушення технології виготовлення й складання, витрати транспортування.

Близько 10% відмов двигунів Д-240, 245 експлуатованих без попереднього припрацювання (ПП), таких як не включається муфта зчеплення, стукіт двигуна, тверда робота двигуна, вібрація можуть бути попереджені регулювальними роботами муфти зчеплення, клапанного механізму, паливного насоса, форсунки й ін. при проведенні ТО після експлуатаційного обкатування. Однак, значна кількість відмов (I групи складності - 78,7%, II групи складності - 60% і III групи складності - 83,5%) машин без ПП, які дають споживачеві найбільші втрати при їхній експлуатації в гарантійний період, можна запобігти проведенням експлуатаційного обкатування на холо-

стому ходу й під навантаженням.

Для відмов I групи складності характерними є течі палива, масла, охолодної рідини. Не усунувши ці відмови при проведенні ПП, подальша експлуатація машини може дати більш складні відмови, такі як задир вкладишів, перегрівши двигуна, загоряння двигуна й ін.

Для відмов II групи складності характерними є порушення працездатності вузлів, складальних одиниць, таких як турбокомпресор, пусковий двигун, водяний, масляний або паливний насос, виникнення яких можна запобігти, уводячи додаткові контрольні-регулювальні роботи ПП.

Для відмов III групи складності, усунення яких є трудомістким і дорогим, такі як вібрація двигуна, непаралельність кільця віджимних важелів і натискного підшипника, повертання вкладишів, обриви поршнів, задири гільз і інші, без ПП проявляються, як правило, при наробітках 300...500 і більш мото-годин. Не всі ці відмови можна попередити проведенням певних операцій ПП. Наробіток до появи цих відмов можна змістити за межі гарантійного (у нашому випадку  $t_g = 2000$  м-г), провівши профілактичні роботи системам і агрегатам, що дають відмови цієї групи складності.

Значне число відмов (I групи складності - 78,7%, II групи - 60%, і III групи - 83,5%) машин у початковий період експлуатації, які дають споживачеві найбільші втрати в споживача, можна запобігти проведенням експлуатаційного обкатування на холостому ходу й під навантаженням.

Сучасне мотороремонтне виробництво за рівнем організації й технічному оснащенню ще не повною мірою відповідає вимогам забезпечення високих показників якості ремонту дизелів. Показники безвідмовності й ресурсу капітально відремонтованих дизелів становлять 50-60% від їхніх значень нових.

Аналіз причин відмов машин великої вибірки після ремонту [14, 16, 17] показав, що, поряд з низькою культурою ремонту, більш третини з них викликані некваліфікованим використанням техніки. Отут і відсутність змащен-



ня, і непромиті вчасно центрифуга, повітроочисники, і експлуатація з різними несправностями, що викликають підвищене зношування. До тих же наслідків веде застосування неякісних нафтопродуктів.

Аналіз безвідмовності двигунів показав, що відмови 3-ї групи складності в міжремонтному періоді за першу тисячу м-г в 1, 35 рази більше, чим у доремонтному, а в середньому – в 1, 5 рази менше (табл. 2.3).

Таблиця 2.3-Розподіл кількості відмов відремонтованих двигунів по групах складності

Показники	Марка дизеля	Значення показника			
		По дизелю	I групи складності	II групи складності	III групи складності
Середнє число відмов за 1000 м-г	ЯМЗ-240Б	4,41	1,57	2,18	0,66
	ЯМЗ-238НБ	4,37	1,55	2,34	0,48
	Д-240	3,62	1,22	1,75	0,65
	А-41	4,69	2,43	1,56	0,7
Відношення фактично досягнутого значення параметра до нормативного	ЯМЗ-240Б	1,39	0,8	1,53	4,31
	ЯМЗ-238НБ	1,25	0,57	1,59	3,75
	Д-240	1,37	0,84	1,75	5,2
	А-41	1,25	0,96	1,62	1,86

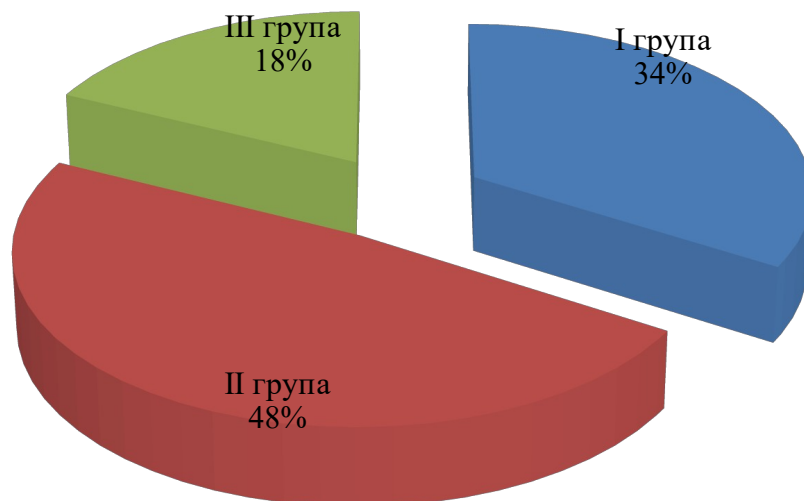


Рис. 2.4. Розподіл кількості відмов відремонтованих двигунів Д-240 по групах складності на 1000 мото-год. напрацювання

Ресурсні відмови в міжремонтному періоді з'являються вже в перші 500 м-г наробітку, а в доремонтному – тільки після 2000 м-г. Порівняння досягнутих значень безвідмовності капітально відремонтованих дизелів Д-242 з нормативними за першу тисячу м-г, з якого видно, що фактична кількість відмов I групи складності значно менше нормативного. Це обумовлене труднощами обліку подібних відмов навіть при проведенні випробувань на машино – іспитових станціях, де ведеться облік усіх робіт у бортовому журналі. По II і III гр. складності у відремонтованого дизеля показники безвідмовності гірше нормативних на 10% і 8% відповідно.

По дизелях Д-240, А-41, ЯМЗ-240Б и ЯМЗ-238НБ показники безвідмовності капітально відремонтованого дизеля в цілому на 25-40% гірше нормативних, а по II і III групі складності нижче в 1,5-2, 0 рази. Найбільше розсіювання в спостережуваній вибірці виявилось по дизелях ЯМЗ-240Б и ЯМЗ-238НБ. Кількість відмов по III групі складності в них було в 7-8 раз більше нормативного.

Характерна відмова I гр. складності – руйнування пасу вентилятора.

Більшість відмов I і II групи складності пов'язані з розгерметизацією

двигуна:

- прогоряння й руйнування прокладок головок циліндрів;
- течі масла, води й палива через тріщини трубопроводів, корпусних деталей;
- втрати еластичності, зношування або руйнування сальників, ущільнювальних кілець і прокладок.

Основними ресурсними відмовами були зношування, руйнування деталей циліндро - поршневої групи й виплавлення антифрикційного шару вкладишів підшипника колінчатого вала (табл. 2.3).

Таблиця 2.3-Кількісна оцінка ресурсних відмов дизелів

Найменування	Кількість, %				
	Д-242	ЯМЗ-238НБ	ЯМЗ-240Б	Д-240	А-41
Зношування ЦПГ	14	20	35	44	20
Виплавлення корінних вкладишів колінчатого вала	50	45	35	15	50
Виплавлення шатунних вкладишів колінчатого вала	15			10	
Злам колінчатого вала	2	10	10	15	8
Обрив поршня	14	15	15	10	5
Обрив шатуна і його болтів	1	10	5	6	12
Обрив болтів кріплення маховика					5

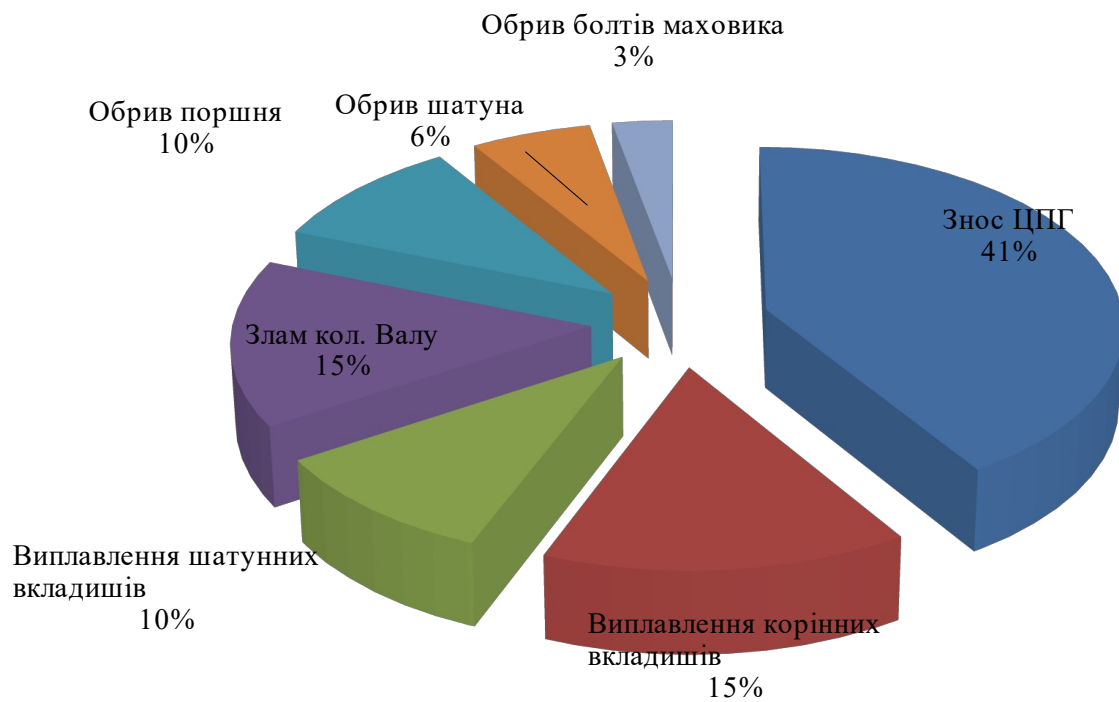


Рис. 2.5. Кількісна оцінка ресурсних відмов дизелів Д-240

Міжремонтний ресурс дизелів Д-242, ЯМЗ-240Б, ЯМЗ-238НБ, Д-240 і А-41 склав 0,42-0,65 від доремонтного й 0,22-0,55 від нормативного (табл. 2.4).

Таблиця 2.4-Співвідношення ресурсу нових і відремонтованих дизелів

Показники	Значення показника				
	Д-242	Д-240	А-41	ЯМЗ-238НБ	ЯМЗ-240Б
80% гамма-ресурс відремонтованих двигунів, м-г	1000	2200	950	1000	1000
Відношення досягнутого значення параметра до нормативного	0,25	0,55	0,24	0,25	0,23
Відношення досягнутого значення параметра до значення доремонтного	0,58	0,65	0,48	0,54	0,46

Причини ресурсних відмов розподілилися в такий спосіб. Вихід з ладу вкладишів підшипників обумовлений наступними факторами: забруднення моторного масла – 50%; нехватка масла – 25%; застосування сортів масла, не передбачених інструкцією для експлуатації – 15%; неспіввісність і інші площинні відхилення вкладишів, а також відхилення, пов'язані з малою твердістю кривошипної головки шатуна – 10%. Передчасне зношування деталей ЦПГ пов'язане з відмовою систем повітрязабору й фільтрації повітря: засмічення фільтруючих елементів – 60%; розгерметизація впускних каналів – 40%.

Аналіз динаміки зміни зазорів показує, що найбільш інтенсивний характер збільшення зазору має сполучення «поршневе кільце - верхня канавка поршня», для якого граничний стан наступає при наробітку 3000 м-г і більш у міжремонтному й 4500 м-г у доремонтному періоді. Порівняння швидкості зношування сполучень показує, що в післяремонтних дизелів швидкість зношування в 1,64 – 2, 0 рази вище, чим у доремонтних.

У колінчатих валів при капітальному ремонті дизелів шліфують шийки, що знижує їх твердість і як наслідок веде до більш інтенсивного зношування [24].

## **2.2. Динаміка двигуна та формування вібрацій в зоні циліндрів**

При роботі або прокручуванні двигуна виникає перекладення поршня в зазорі з однієї сторони гільзи на іншу з високою швидкістю. В результаті ударного імпульсу виникають пружні коливання стінок циліндру [19]. Найбільш інтенсивний удар при перекладці поршня спостерігається поблизу ВМТ, так як нормальна бокова сила має тут найбільше значення. Удар в цьому випадку направлений в сторону, протилежну обертанню колінчатого валу. Сила, яка діє на поршень по осі циліндра:

$$P_{zj} = P_z \pm P_j, \quad (2.1)$$

де  $P_z$  - сила від тиску газів в циліндрі;

$P_j$  - сила інерції мас, що рухаються поступально.

Силами тертя між поршнем та гільзою та їх масами нехтуємо. Бокова сила з урахуванням тертя поршня об кільця, під дією якої поршень перекладається в зазорі, визначається за виразом:

$$N = P_{zj} \operatorname{tg} \beta - P_{m.k.} \quad (2.2)$$

де  $\beta$  - кут нахилу шатуна по відношенню до осі циліндра в процесі перекладання поршня;

$P_{m.k.}$  - сила тертя між поршнем та кільцями, яка оказує опір при поперечному переміщенні поршня в зазорі.

В свою чергу:

$$P_{m.k.} = (p_z + p'_z + p''_z) F_k \mu \quad (2.3)$$

де  $p_z, p'_z, p''_z$  - тиск газів в поршневих канавках відповідно першого, другого та третього кільця;

$F_k$  - радіальна площа кільця;

$\mu$  - коефіцієнт тертя.

При обертанні колінчатого валу двигуна сили інерції в кривошипно-шатунному механізмі кілька разів за цикл змінюють знак, і кільце переміщується від однієї стінки канавки до іншої. Розглянемо формування ударного імпульсу в момент перекладення поршня в зазорі, яке обумовлює вібрацію гільзи та блока. Потужність вібрації в районі удару поршня визнача-

ється інтенсивністю, яка характеризується імпульсом сил  $P_z$ .

Імпульс бокової сили при ударі поршня об стінку гільзи може бути представлений у вигляді:

$$R_{zj} = \int_t^{t+\tau} P dt = mv_n(1+k), \quad (2.4)$$

де  $m$  - маса поршня і частини шатуна;

$mv_n$  - кількість руху до удару;

$k$  - коефіцієнт відновлення  $\left(k = \frac{v_k}{v_n}\right)$  ;

$v_n$  та  $v_k$  - швидкості руху до і після удару.

З урахуванням сил тертя поршня о кільця рівняння удару прийме вигляд:

$$R = \int_t^{t+\tau} P dt - \int_t^{t+\tau} P_{Т.К.} dt = mv_n(1+k) - P_{Т.К.} t_{\Pi}$$

де  $t_{\Pi}$  - час перекладки поршня в зазорі при його поперечному русі.

Так як перекладка поршня в зазорі здійснюється в інтервалі 12-20° повороту колінчатого валу (від ВМТ до моменту удару), можна прийняти швидкість наростання сили  $N$  постійною по часу, тобто:

$$\frac{dN}{dt} = \dot{N} = const$$

Диференціальне рівняння поперечного руху поршня можна записати у вигляді:

$$\ddot{s} m = \frac{d^2 s}{dt^2} m = \dot{N} t, \quad (2.5)$$

де  $s$  - зазор між поршнем та гільзою циліндра.

Інтегруючи вираз (2.5) та підставляючи початкові умови при  $t=0, s=0, \dot{s}=0$ , отримаємо:

$$m \dot{s} = \frac{\dot{N} \cdot t_{\Pi}^2}{2}$$

Звідки:

$$s = \frac{\dot{N} \cdot t_{\Pi}^2}{6m}$$

Так як  $\dot{s} = \frac{dv}{dt}$ , то:

$$\frac{dv}{dt} = \frac{d^2 s}{dt^2}. \quad (2.6)$$

Для  $v_0 = 0$  (у ВМТ) з формули (2.6) отримаємо вираз для швидкості в момент удару:

$$v_{\Pi} = \frac{\dot{N} \cdot t_{\Pi}^2}{2m}. \quad (2.7)$$

Подальше інтегрування дає рівняння шляху:

$$s = \int_{t_0}^t v dt = \frac{\dot{N} t_{\Pi}^2}{6m}. \quad (2.8)$$



З виразу (2.8) час перекладання поршня в зазорі:

$$t_{\Pi} = \sqrt[3]{\frac{6 sm}{\dot{N}}} \quad (2.9)$$

Приймаючи  $\operatorname{tg} \beta = \sin \beta = \lambda_k \cdot \sin \phi$ , отримаємо:

$$N_{\Gamma j} = P_{zj} \cdot \lambda_k \cdot \sin \phi \quad (2.10)$$

Диференціюючи вираз (A.10), отримаємо:

$$N_{zj} = \frac{dN_{zj}}{dt} = \omega \cdot P_{zj} \cdot \lambda_k \cdot \cos \phi \quad (2.11)$$

При перекладці поршня в зоні ВМТ  $\phi_{\Pi} = 12 - 20^{\circ}$  та  $\cos \phi_{\Pi} = 0,98$ . Підставляючи у вираз (2.9) значення  $N_{zj}$  з виразу (2.11) отримаємо:

$$t_{\Pi} = 2,15 \sqrt[3]{\frac{6 sm}{\omega P_{zj} \lambda_k \cos \phi_{\Pi}}} = 8,3 \sqrt[3]{\frac{sm}{n \lambda_k P_{zj}}},$$

а значення  $t_{\Pi}$  в формулу (2.8), отримаємо рівняння поперечної швидкості поршня в момент удару:

$$v_{\Pi} = 0,76 \sqrt[3]{\frac{0,98 s^2 \omega P_{zj} \lambda_k}{m}} = 0,36 \sqrt[3]{\frac{s^2 n P_{zj} \lambda_k}{m}},$$

Якщо у вираз (2.4) підставити значення  $v_{\Pi}$ , то залежність для моменту удару без урахування сил тертя поршня об кільця при перекладці,

буде:

$$R_{zj} = 3,6(1+k) \sqrt[3]{s^2 n m^2 P_{zj} \lambda_k} , \quad (2.12)$$

а з урахуванням сил тертя:

$$R = 3,6(1+k) \sqrt[3]{s^2 n m^2 P_{zj} \lambda_k} - 1,8 P_{Т.К.} \sqrt[3]{\frac{sm}{n \lambda_k P_{zj}}} . \quad (2.13)$$

Для одного типорозміру двигуна та визначеного режиму роботи рівняння (2.12) прийме вид:

$$R = A \cdot s^{\frac{2}{3}} .$$

З цих рівнянь видно, що при визначеному режимі роботи на різних стадіях спрацювання двигуна поперечна швидкість поршня  $v_{\Pi}$  та інтенсивність удару  $R$  будуть змінюватися в залежності від зазору  $s$ . Розглянутий вище аналіз формування одиночного ударного імпульсу припускає перекидку поршня при паралельному положенні утворюючої. В двигунах автотракторного типу цент ваги поршня та повздовжня рівнодіюча сила тертя поршневих кілець розміщені вище осі пальця, що обумовлює обертальний рух поршня при перекидці. В цьому випадку під дією бокової сили  $N$  з урахуванням поперечної сили тертя перекидка поршня йде у дві фази та з двома ударами. В першій фазі поршень вдаряється об гільзу нижньою частиною юбки. У другій фазі поршень обертається відносно опори нижньої частини юбки, при цьому виникає другий удар. Друга фаза перекидки поршня після ВМТ на такті розширення супроводжується більш потужним ударом, чим перша.

Аналіз вібрацій, викликаних ударами в поршневій групі, показує, що їх енергія приблизно рівняється кінетичній енергії в момент удару. Потужність цих вібрацій (енергія, осереднена по часу), яка формується ударами поршнів усіх циліндрів, може бути виражена рівнянням:

$$\sigma(\omega)_\tau = \left( zm \frac{n}{j} \right) \sum_{\text{цикл}} v_{\Pi}^2 \phi_0, \quad (2.14)$$

де  $j$  - кількість ударів за цикл.

Приймаючи імпульс, який викликаний перекладкою поршня поблизу ВМТ, за інформативний та виділяючи цей імпульс для одного циліндра, визначимо потужність вібрації, підставляючи у (2.14) значення поперечної швидкості поршня:

$$\sigma(\omega)_\tau = 2,8 nm \sqrt[3]{\frac{s^4 n^2 P_{ej}^2 \lambda_k^2}{m^2}}. \quad (2.15)$$

### 2.3. Висновок

Аналіз динаміки зміни зазорів показує, що найбільш інтенсивний характер збільшення зазору має сполучення «поршневе кільце - верхня канавка поршня», для якого граничний стан настає при наробітку 3000 м-г і більш у міжремонтному й 4500 м-г у доремонтному періоді. Порівняння швидкості зношування сполучень показує, що в післяремонтних дизелів швидкість зношування в 1,64 – 2, 0 рази вище, чим у доремонтних.

У колінчатих валів при капітальному ремонті дизелів шліфують шийки, що знижує їх твердість і як наслідок веде до більш інтенсивного зношування

При обертанні колінчатого валу двигуна сили інерції в кривошипно-шатунному механізмі кілька разів за цикл змінюють знак, і кільце переміщується від однієї стінки канавки до іншої. Як наслідок формується ударний імпульс в момент перекладення поршня в зазорі, яке обумовлює вібрацію гільзи та блока. Потужність вібрації в районі удару поршня визначається інтенсивністю, яка характеризується імпульсом сил.

## РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 3.1. Обладнання та методика проведення досліджень

Графічно методика проведення вібродіагностики приведена на рис. 3.1.  
[25, 26, 27]

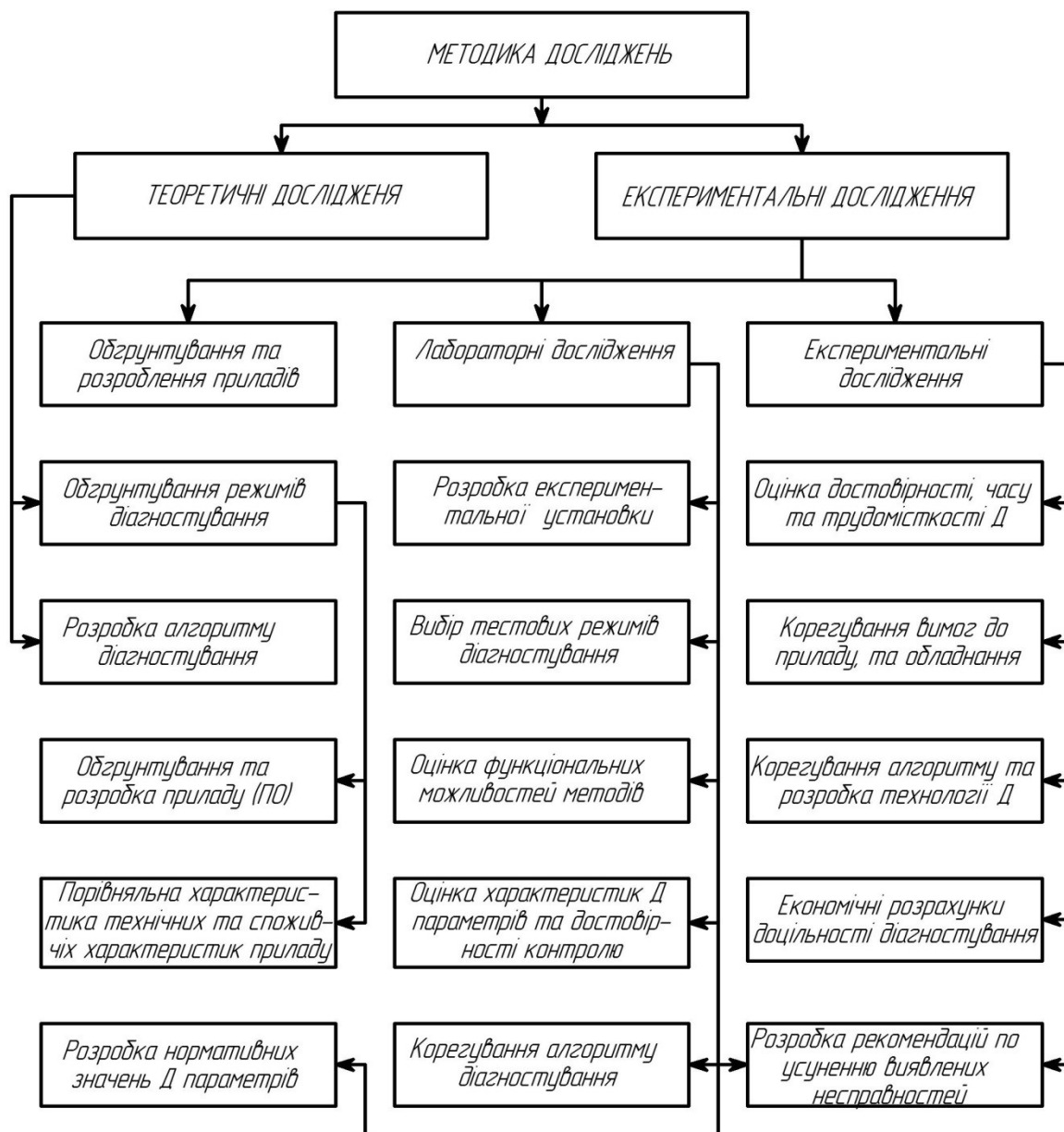


Рис. 3.1. Методика досліджень

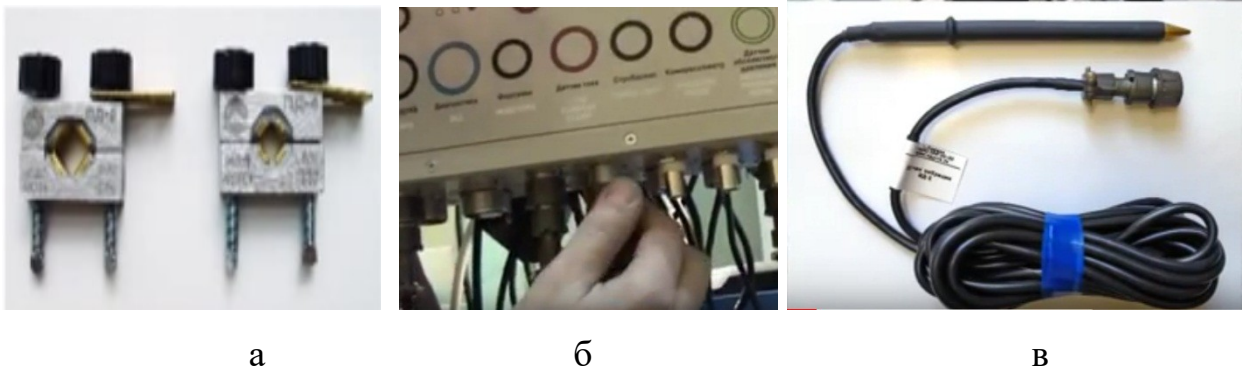


Рис. 3.2. Обладнання вібротестеру МТ-10Д  
а-пезодатчик впорскування, б-підключення датчиків до блоку керування, в-вібродатчик (акселерометр)

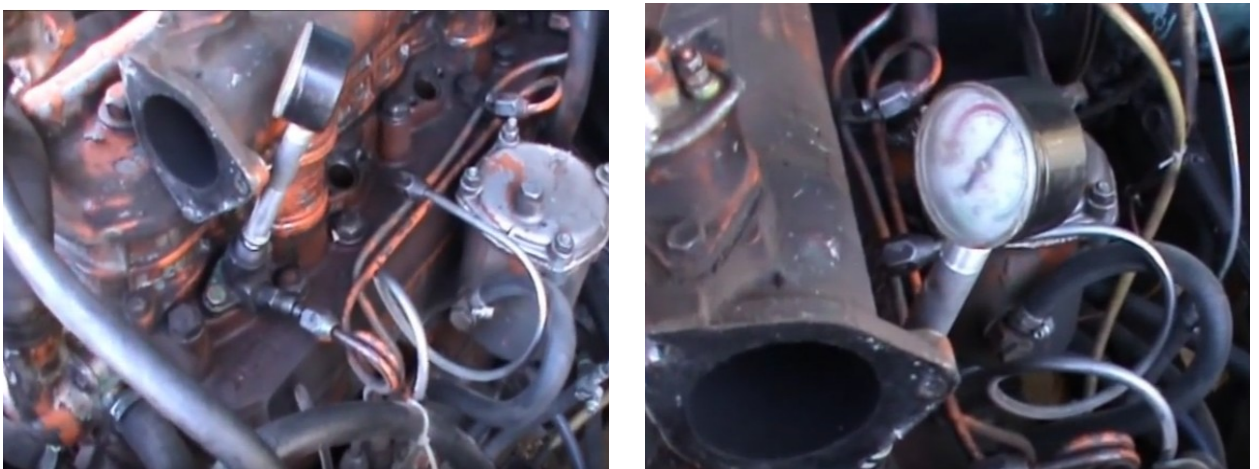


Рис. 3.3. Забір компресії



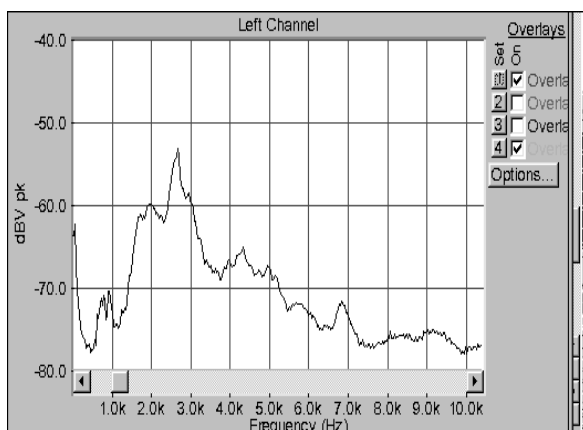
Рис. 3.4. Регулювання клапанів двигуна



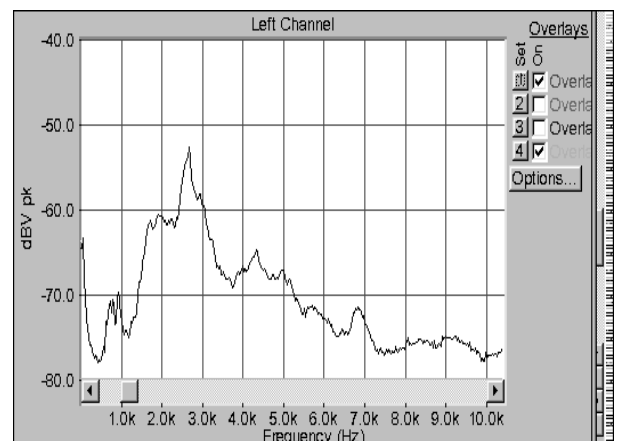
Рис. 3.5. Встановлення пьезодатчика впорскування та замір вібрації головки в зоні 1го циліндра

### 3.2. Дослідження спектру сигналу від довжини реалізації

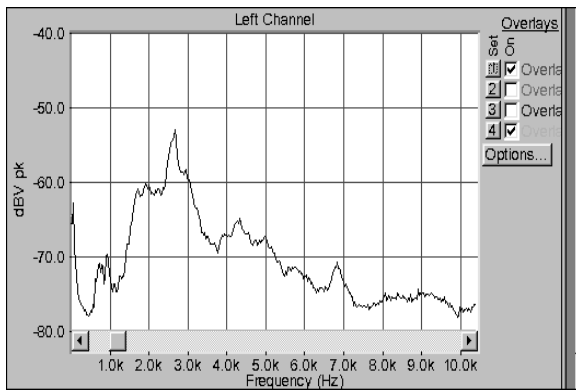
Розглянемо залежність спектру сигналу від довжини реалізації. На малюнку 3.6. Відображає спектр сигналу відповідно до реалізованої довжини. Тривалість сигналу, що знімається з картера, становить 60 секунд. Будемо поступово скорочувати тривалість реалізації шляхом одночасного вивчення середнього спектру сигналу [27].



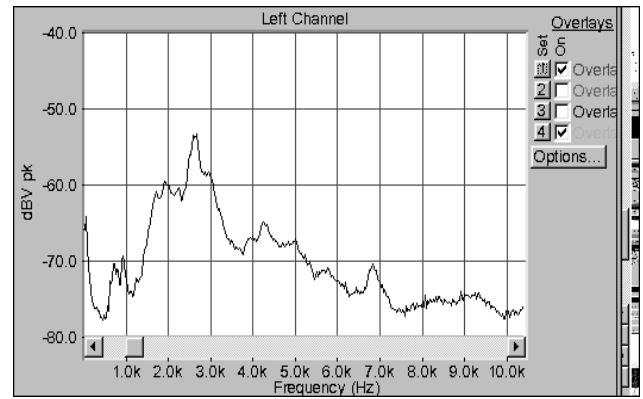
60 сек



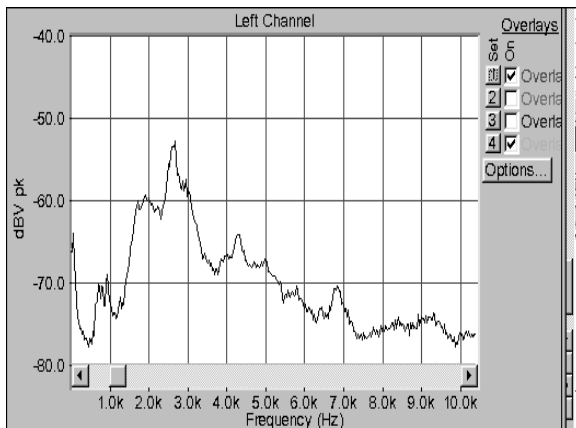
50 сек



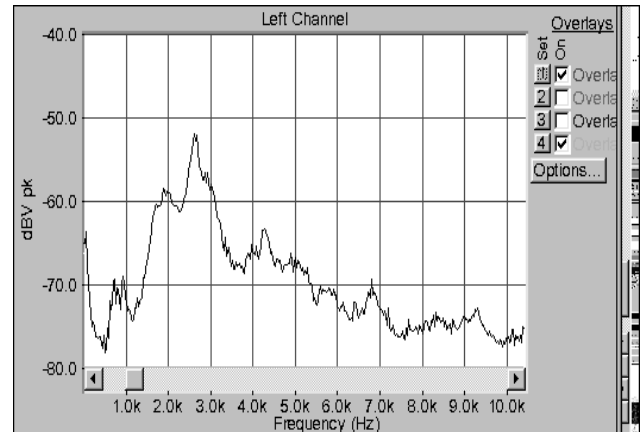
40 сек



30 сек



20 сек



10 сек

Рис. 3.6. Графічна залежність спектру сигналу вібрації від довжини хвилі

Як видно з малюнка вище, середній спектр недостатньо сильно залежить від реалізованої довжини. Це пояснюється тим, що середній спектр складається з 32000 точок, навіть протягом п'яти секунд після сигналу спектр стає більшим.

Загалом записаний 1-хвилинний сигнал містить близько 1,5 млн точок, що дуже багато і не обов'язково. Сигнал можна зняти після того, як двигун попрацює приблизно п'ять секунд. Це використовує менше пам'яті та зменшує час обробки сигналу, що скорочує час діагностики.



### 3.3. Визначення діагностичних ознак кривих віброприскорення в залежності від роз регулювань паливної апаратури

Для підвищення інформативності сигналу і точності постановки діагнозу викликає цікавість дослідження поведінки вібраційних характеристик двигуна по двох координатах  $x$  та  $y$ . В подальшому ми будемо використовувати такі сигнали та оброблювати їх. Особливу цікавість представляє питання чи впливає роз регулювання паливної апаратури на вібраційні характеристики блоку циліндрів двигуна.

Еталонні зображення спектрів були зняті при повністю відрегульованій паливній апаратурі в двох точках, вони зображені на рис. 3.7.

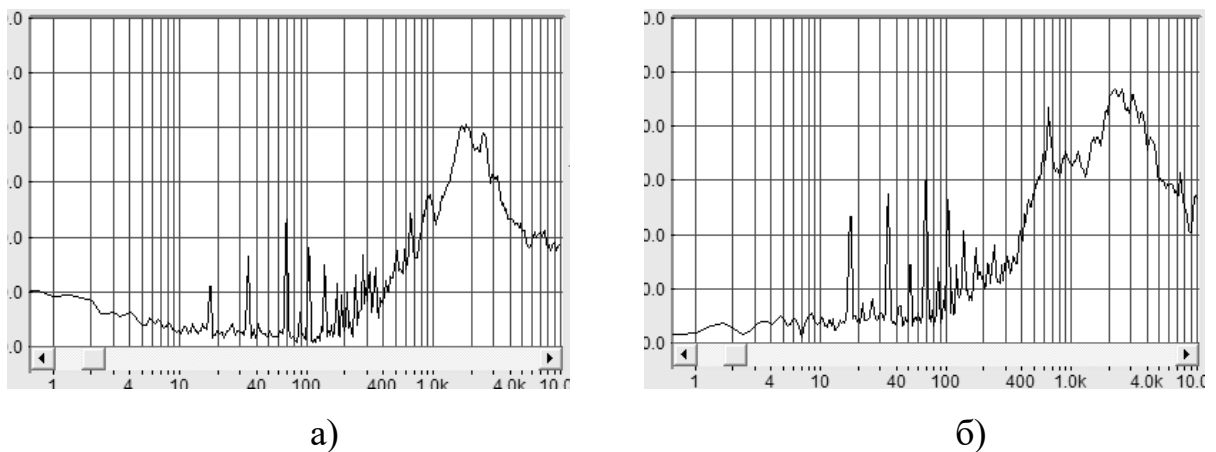


Рис.3.7 - Еталонні зображення спектрів.

При відключенні другої форсунки отримуємо наступні спектри.

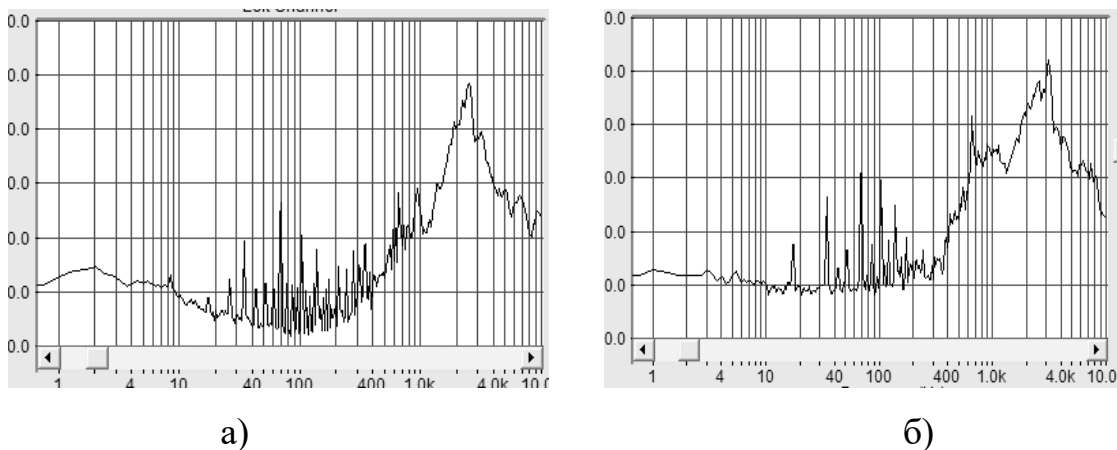
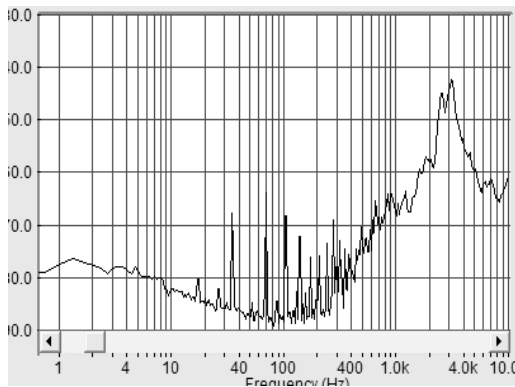


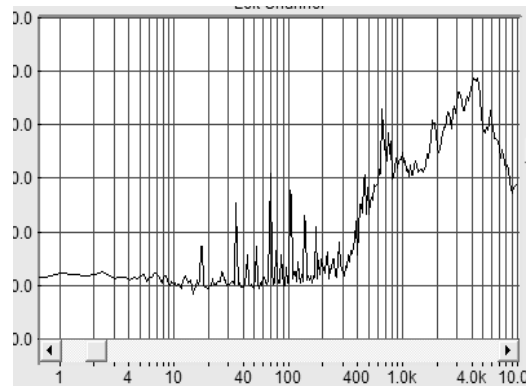
Рис. 3.8. Спектри вібропереміщення при  $n=1000$  об/хв при відключенні

форсунки на другому циліндрі.

Форсунка тиск впорскування 14 МПа.



а)



б)

Рис. 3.9. Криві вібрації при тиску впорскування 14 МПа.

Форсунка, тиск впорскування 20 МПа.

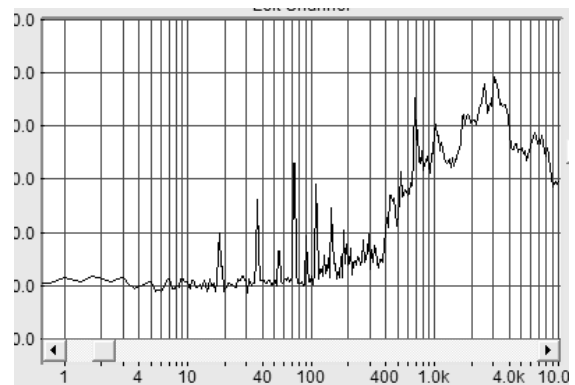
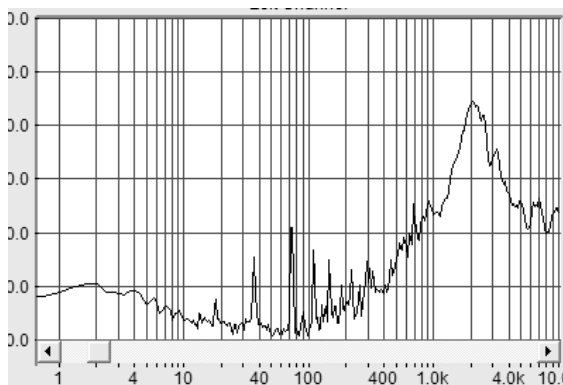


Рис.3.10. Криві вібрації при тиску впорскування 20 МПа.

Як видно робота паливної апаратури теж суттєво впливає на вібрації двигуна.

Таким чином видно, що вібродіагностика є ефективним способом підтримання машин у робото здатному стані, а для своєчасного виявлення несправності на стадії її зародження необхідно на трактори встановлювати систему контролю параметрів вібрації (рис. 3.11).

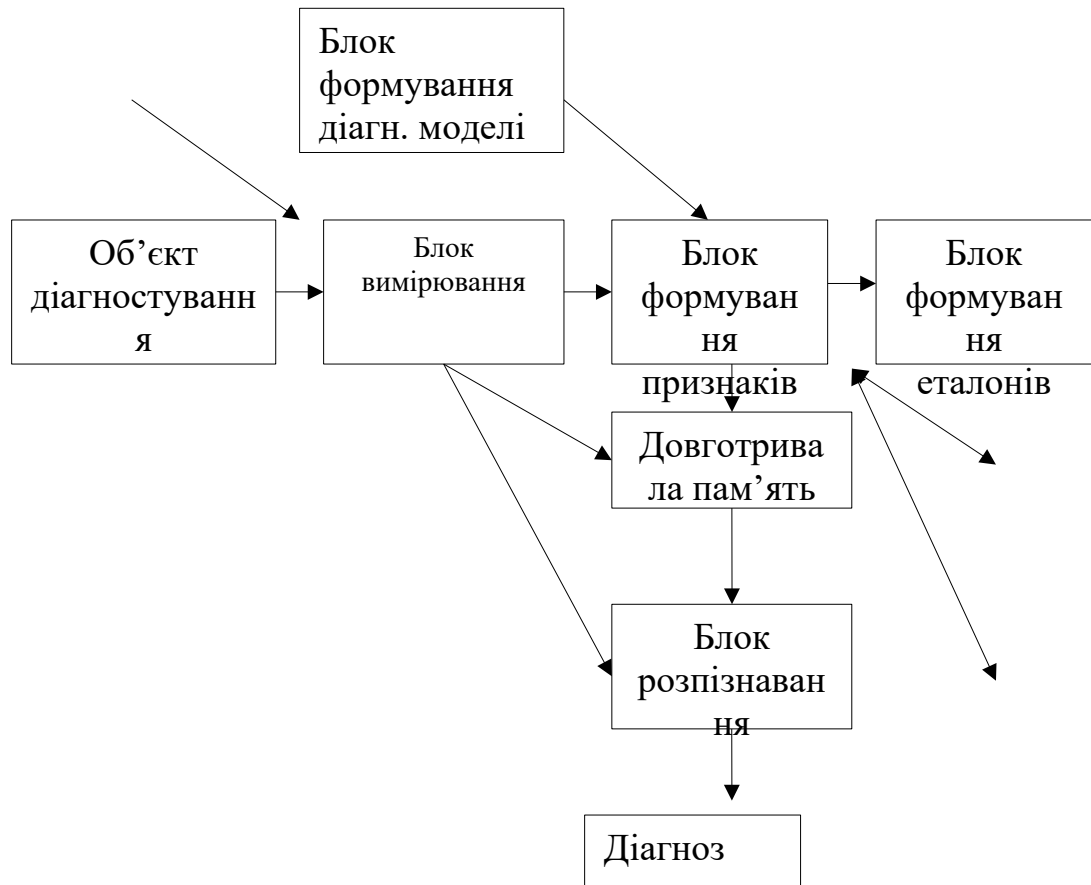


Рис. 3.11. Загальна блок-схема бортової системи діагностування.

### 3.4. Висновок

Таким чином встановлено, що вібрація агрегатів є гарним показником їх стану, також при використанні чуттєвих датчиків та сучасного програмного забезпечення можливо визначити не тільки стан агрегату в цілому, а і стан окремих його вузлів і деталей.

## РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ

### 4.1. Огляд служби охорони праці підприємстві

Директор ТОВ "Дніпромехбудтранс" відповідає за охорону праці на підприємстві, спеціаліст з охорони праці на підприємстві розробляє заходи по безпечній роботі, проводить вступні інструктажі та розглядає недоліки в роботі.

Спеціаліст з охорони праці призначається директором підприємства.

На підприємстві досить складна структура з розгалуженими напрямками роботи, а саме: будівництво, перевезення, сфера послуг (магазини), ремонт парку машин, ремонт електродвигунів. Тому в кожному підрозділі призначено відповідального за стан охорони праці, як правило це керівник підрозділу (крім будівельного напрямку, там великий підрозділ і він має свого спеціаліста з охорони праці).

В ТОВ "Дніпромехбудтранс" передбачено постійні медичні комісії, на яких працівники підтверджують стан свого здоров'я.

Матеріально-технічна база підприємства постійно оновлюється, було придбано нову техніку для виконання будівельних робіт, а от навчання робітників не проводились і як наслідок виникають порушення правил безпечної роботи.

На підприємстві є кабінет з охорони праці, але наглядно-методичний матеріал який використовується в основному будівельного напрямку, а підприємство, ще й експлуатує техніку та робить ремонти. В підрозділах відсутні куточки з охорони праці, інструктажі проводяться але носять формальний характер (підпис у журналі і все), будівельники нехтують засобами індивідуального захисту (каска, ботинки) особливо в літню пору. Підрозділи не забезпечені вогнегасниками.

Підприємство працює згідно наступного розпорядку:

Таблиця 4.1 – Розпорядок роботи підприємства

№	Параметр	Показник
1	Тривалість робочого тижня, днів	5
2	Тривалість робочого дня, год.	8
3	Перерва на обід	13:00...14:00
4	Вихідні	Субота, неділя

На підприємстві в цілому склалися не погані умови праці. Зростання заробітних плат, придбання нового інвентарю змусило робітників більш сумлінно відноситись до своїх обов'язків. Так як на підприємстві за порушення правил безпеки передбачено систему штрафів яка в разі порушення суттєво впливає на заробітну плату. Заходи по охороні праці на підприємстві фінансуються за рахунок загальновиробничих витрат, якщо заходи носять не капітальний характер.

В цілому по підприємству стан охорони праці є - задовільним.

#### 4.2. Дослідження виробничого травматизму

На підприємстві роботу служби охорони праці поставлено на належний рівень тому травмувань майже не відбувається, так за останні п'ять років трапився один нещасний випадок робітник травмував кінцівку і після перебування на лікарняному звільнився. Керівництвом господарства робітнику було виплачено компенсацію та компенсовано витрати на лікування.

Провівши аналіз травматизму в господарстві та причин, що їх спричинили можна буде розробити заходи з поліпшення умов праці та уникнення травмувань. Розрахунки проведемо для 2020 року по іншим рокам розрахунки аналогічні і заносяться до таблиці 4.1.

Частота травм ( $K_{\text{ч}}$ ) [28, 29]

$$K_q = \frac{1000 \cdot T}{П} = \frac{1000 \cdot 1}{236} = 4,2 \quad (4.1)$$

де Т – кількість травмувань;

П – число працюючих;

Важкість травматизму ( $K_T$ )

$$K_T = \frac{Д}{T} = \frac{36}{1} = 36 \quad (4.2)$$

Д – дні непрацездатності.

Показник втрат ( $K_n$ )

$$K_n = \frac{1000 \cdot Д}{П} = \frac{1000 \cdot 36}{236} = 152,5 \quad (4.3)$$

Таблиця 4.1 - Стан травматизму в господарстві за 2017 – 2021 роки

№ п/п	Показники	Всього				
		2017	2018	2019	2020	2021
1.	чисельність працюючих	250	245	245	236	236
2.	Кількість травм	-	-	-	1	-
3.	Дні на лікарняному	-	-	-	36	-
4.	Частота травматизму	-	-	-	4,2	-
5.	Важкість травматизму	-	-	-	36	-
6.	Коефіцієнт непрацездатності	-	-	-	152,5	-

### **4.3. Заходи поліпшення умов праці на підприємстві**

#### **Моделювання ситуацій, що можуть привести до травмувань**

В процесі формування відбуваються нещасні випадки та травми, всі випадкові події (явища), що формують ту чи іншу надзвичайну чи травматичну ситуацію, пов'язані через причинно-наслідковий зв'язок. Кожна логічна модель процесу формування та виникнення небезпеки або надзвичайної ситуації складається з певної кількості випадкових подій, які можуть бути статично пов'язаними або незалежними. Статистично корельовані події — це події, для яких неможливо, щоб наступна подія відбулася без появи попередньої події. Дві події, включені в одну модель, є статично незалежними, якщо кожна з них може відбуватися незалежно від іншої. Як правило, у таких моделях незалежні випадкові події розміщуються паралельно, а пов'язані події – послідовно. Процес виявлення прихованих небезпек у виробництві базується на більш точному та ефективному впровадженні існуючих операційних засобів контролю та має бути відповідно вдосконалений.

Аналізуючи процес формування та можливі логічні моделі кожної сконструйованої травми та надзвичайної ситуації, завжди можна знайти подію, яка ініціює небезпечний процес і передуює небезпечному наслідку. Логічні моделі можуть бути використані при вирішенні питання про відповідальність осіб, винних у виникненні таких аварій, і про ступінь вини самого потерпілого.

Наприклад, робоча модель пристрою, що використовується на фрезерному верстаті, показана на малюнку 1. 4.1.

Вид робіт	Виробнича небезпека			Можливі наслідки	Заходи запобігання небезпечним ситуаціям
	Небезпечна умова (НУ)	Небезпечна дія (НД)	Небезпечна ситуація (НС)		
Робота на фрезерному верстаті	працює без огороження (НУ1)		виліт стружки (НС1)	травма (Т)	обладнати верстат огороженням
	болти, прорізи, задирки виступають з обертаючих механізмів (НУ2)	Робота без прибирання робочого місця (НД1)	захоплення одягу або руки (НС2)	травма (Т)	зменшити задирки
	немає дерев'яного настилу (НУ3)		ковзання працівника, торкання до металевих частин під напругою (НС3)	травма (Т)	забезпечити працюючого настилом
	одірваний заземлюючий дріт (НУ4)	Розлив рідини (НД2)		травма (Т)	забезпечити заземлення
<pre> graph LR     NU1 --&gt; ND1     NU2 --&gt; ND1     NU3 --&gt; ND2     NU4 --&gt; ND2     ND1 --&gt; NS2     ND1 --&gt; NS1     ND2 --&gt; NS3     NS2 --&gt; T1     NS1 --&gt; T1     NS3 --&gt; T2 </pre>					
Вид робіт	Виробнича небезпека			Можливі наслідки	Заходи запобігання небезпечним ситуаціям
	Небезпечна умова (НУ)	Небезпечна дія (НД)	Небезпечна ситуація (НС)		
Встановлення та закріплення заготовки	деталь має гострі краї (НУ1)	працівник почав роботу без погодження з керівником (НД1)	ковзання рук працівника по деталі (НС1)	Аварія (А)	провести навчання з працівником щодо правил виконання роботи
	Надмірна вага деталі (НУ2)	Встановлення деталі вручну (НД2)	випадання деталі з рук (НС2)		провести позаплановий інструктаж з ОП
	поверхня деталі покрита мастилою (НУ3)	Деталь не підготовлена до роботи (НД3)	падіння деталі на ноги працівника (НС3)	травма (Т)	згідно норм забезпечити працівника засобами індивідуального захисту
	Відсутність засобів захисту рук працівника (НУ4)			травма (Т)	Посилити контроль з боку керівника структурного підрозділу
<pre> graph LR     NU4 --&gt; ND1     NU4 --&gt; ND2     NU4 --&gt; ND3     ND1 --&gt; NS1     ND1 --&gt; NS2     ND2 --&gt; NS3     ND3 --&gt; NS1     NS1 --&gt; A     NS2 --&gt; A     NS3 --&gt; T </pre>					

Рис. 4.1. Логічна модель при виконанні робіт на фрезерних верстатах з використанням спеціальних пристосувань



#### **4.4. Висновок**

Встановлено, що в цілому робота служби охорони праці на підприємстві можна оцінити на добре, вимагає поліпшення фінансування та постійного навчання робітників та фахівців.

За останні п'ять років було зафіксовано одне травмування робітника, а саме травмування кінцівки, яке відбулось з вини робітника. Розроблено заходи з поліпшення умов праці та її безпеки.

## РОЗДІЛ 5. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА РОБОТИ

Оптимальність регулювання систем і агрегатів тракторів та автомобілів побічно забезпечує оптимальний режим роботи. При оснащенні рухомого складу системами вмонтованих датчиків і бортового контролю знижується трудомісткість і підвищується точність поставленого діагнозу, крім того, забезпечується оперативність контролю за технічним станом і режимом роботи технічного засобу.

Розрахунок розпочинаємо з визначення капітальних вкладень базового  $K^6$  та нового  $K^H$  варіанту:

$$K^6 = V_{об}^6 + V_M, \quad (6.1)$$

$$K^H = V_{об}^H + V_M, \quad (6.2)$$

де  $V_{об}^6, V_{об}^H$  – вартість обладнання за базовим та новим варіантом, відповідно.

$$V_{об}^6 = 276 \text{ грн}, \quad V_{об}^H = 3000 \text{ грн},$$

$V_M^6, V_M^H$  – вартість монтажу базового та нового обладнання:

$$V_M^6 = T_M^6 + V_{ГЗ}^6 \cdot 0,7, \quad (6.3)$$

$$V_M^H = T_M^H + V_{ГЗ}^H \cdot 0,7, \quad (6.4)$$

де  $T_M$  – трудомісткість монтажу обладнання за базовим та новим варіантом, люд-год.,  $T_M^6 = 1$  люд-год,  $T_M^H = 5$  люд-год.;

$V_{ГЗ}^6$  – годинна заробітна плата діагноста,  $V_{ГЗ} = 9,15$  грн;

$V_{ГЗ}^H$  – годинна заробітна плата оператора-діагноста,  $V_{ГЗ} = 9,5$  грн;

$$K^6 = 276 + 1 \cdot 9,15 \cdot 0,7 = 282,4 \text{ грн.}$$

$$K^H = 3000 + 5 \cdot 9,5 \cdot 0,7 = 3033,25 \text{ грн.}$$

Звідси, приведені капітальні вкладення складатимуть:

$$K_{пр}^6 = 0,15 \cdot K, \quad (6.5)$$

$$K_{пр}^H = 0,15 \cdot K, \quad (6.6)$$

де  $K$ --нормативний коефіцієнт ефективності капіталовкладень;

$$K_{пр}^6 = 0,15 \cdot 282,4 = 41,52 \text{ грн.}$$

$$K_{пр}^H = 0,15 \cdot 3033,25 = 450,78 \text{ грн.}$$

Річні експлуатаційні витрати  $B$  складаються із заробітної плати оператора-діагноста  $B_o$ , затрат на поточний ремонт  $B_{п}$ , амортизаційних витрат на капітальний ремонт  $B_k$  та витрат на електроенергію  $B_e$ .

Експлуатаційні витрати відповідно базового та нового способу діагностування:

$$B^6 = B_3^6 + B_{п}^6 + B_k^6 + B_e^6, \quad (6.7)$$

$$B^H = B_3^H + B_{п}^H + B_k^H + B_e^H. \quad (6.8)$$

Загальні витрати на заробітну плату по базовому та новому варіанту:

$$B_3 = B_{очн} + B_{соц} + B_{нв}, \quad (6.9)$$

де  $V_{\text{осн}}$  - основна заробітна плата:

$$V_{\text{осн}}^{\text{б}} = V_{\text{ГЗ}}^{\text{б}} \cdot T^{\text{б}}, \quad (6.10)$$

$$V_{\text{осн}}^{\text{н}} = V_{\text{ГЗ}}^{\text{н}} \cdot T, \quad (6.11)$$

де  $V_{\text{ГЗ}}^{\text{б}}$  - годинна заробітна плата діагноста,  $V_{\text{ГЗ}}^{\text{б}}=9,15$  грн;

$V_{\text{ГЗ}}^{\text{н}}$  - годинна заробітна плата оператора - діагноста,  $V_{\text{ГЗ}}^{\text{н}}=9,5$  грн;

$T^{\text{б}}$  - трудомісткість роботи базового варіанту,  $T = 2$  люд-год;

$T^{\text{н}}$  - трудомісткість роботи нового варіанту,  $T = 0,3$  люд-год;

$$V_{\text{осн}}^{\text{б}} = 9,15 \cdot 2 = 18,3 \text{ грн.}$$

$$V_{\text{осн}}^{\text{н}} = 9,5 \cdot 0,3 = 2,85 \text{ грн,}$$

$V_{\text{соц}}$  – витрати на соціальне страхування:

$$V_{\text{соц}} = V_{\text{осн}} \cdot 0,5 \quad (6.12)$$

$$V_{\text{соц}}^{\text{б}} = 18,3 \cdot 0,5 = 9,15 \text{ грн.}$$

$$V_{\text{соц}}^{\text{н}} = 2,85 \cdot 0,5 = 1.43 \text{ грн,}$$

$V_{\text{нв}}$  – накладні витрати:

$$V_{\text{нв}} = V_{\text{осн}} \cdot (P_{\text{зв}}/100) \quad (6.13)$$

$P_{\text{зв}} - 5...10\%$  .

$$V_{\text{нв}}^{\text{б}} = 18,3 \cdot (5/100)=0,92 \text{ грн.}$$

$$V_{\text{нв}}^{\text{н}} = 2,85 \cdot (5/100) = 0,14 \text{ грн.}$$

Звідси загальна заробітна плата для діагностування одного двигуна складає:

$$V_{\text{заг}}^{\text{б}} = 18,3 + 9,15 + 0,92 = 28,38 \text{ грн.}$$

$$V_{\text{заг}}^{\text{н}} = 2,85 + 1,43 + 0,14 = 5,42 \text{ грн.}$$

Витрати на поточний ремонт по базовому та новому способу становитимуть:

$$V_{\text{п}}^{\text{б}} = (K^{\text{б}} \cdot 2,3) / 100 \quad (6.14)$$

$$V_{\text{п}}^{\text{н}} = (K^{\text{н}} \cdot 2,3) / 100 \quad (6.15)$$

де  $K$  - капітальні вкладення;

Відрахування на поточний ремонт - 2,3 %

$$V_{\text{п}}^{\text{б}} = (282,4 \cdot 0,23) / 100 = 0,64 \text{ грн.}$$

$$V_{\text{п}}^{\text{н}} = (3033,25 \cdot 0,23) / 100 = 6,91 \text{ грн.}$$

Амортизаційні витрати на капітальний ремонт складатимуть:

$$V_{\text{к}}^{\text{б}} = (K \cdot 10) / 100 \quad (6.16)$$

$$V_{\text{к}}^{\text{н}} = (K \cdot 10) / 100 \quad (6.17)$$

Амортизаційні відрахування – 10 %:

$$V_k^6 = (282,4 \cdot 10) / 100 = 28,2 \text{ грн.}$$

$$V_k^H = (3005,25 \cdot 10) / 100 = 303,33 \text{ грн.}$$

Витрати на електроенергію складають: витрати електроенергії на освітлення робочого місця при базовому та новому способу діагностування, а також на роботу комп'ютера при новому способі діагностування. Розрахунок проводиться для одного діагностування.

Тривалість роботи електроосвітлювальних приладів:

$$T^6 = 2 \text{ год.}, \quad T^H = 0,3 \text{ год.}$$

Потужність освітлювальних приладів:

$$N_{оп}^6 = N_{оп}^H = 1,7 \text{ кВт/год.} \quad (6.18)$$

Витрати електроенергії на освітлення робочого місця за час діагностування:

$$V_{ep}^6 = N_{оп}^6 \cdot T^6 \cdot V_{кг}, \quad (6.19)$$

$$V_{ep}^H = N_{оп}^H \cdot T^H \cdot V_{кг}, \quad (6.20)$$

де  $N_{оп}$  – потужність споживачів електроенергії для освітлення робочого місця, кВт,  $N_{оп}^6 = N_{оп}^H = 1,7$  кВт/год;

$V_{кг}$  – вартість 1 кВт /год., грн.,  $V_{кг} = 1,68$  грн.

$$V_e^6 = V_{ep}^6 = 1,7 \cdot 2 \cdot 1,68 = 5,7 \text{ грн.}$$

$$V_{ep}^H = 1,7 \cdot 0,3 \cdot 1,68 = 0,86 \text{ грн.}$$

Для нового способу діагностування слід врахувати витрати електроенергії на роботу комп'ютера:

$$V_{ек}^H = N_k^H \cdot T^H \cdot V_{кг}, \quad (6.21)$$

де  $N_k^H$  - витрата електроенергії на роботу комп'ютера,  $N_k^H = 1,2$  кВт/год;

$$V_{ек}^H = 1,2 \cdot 0,3 \cdot 1,68 = 0,6 \text{ грн.}$$

Сумарні витрати електроенергії при новому способу діагностування:

$$V_e^H = V_{ep}^H + V_{ек}^H, \quad (6.22)$$

$$V_e^H = 0,86 + 0,6 = 1,46 \text{ грн.}$$

Звідси експлуатаційні витрати з врахуванням заробітної плати та витрат на електроенергію для діагностування будуть становити:

$$V^6 = 28,38 + 0,64 + 28,2 + 5,7 = 62,92 \text{ грн.}$$

$$V^H = 5,42 + 6,91 + 303,33 + 1,46 = 317,12 \text{ грн.}$$

Економія засобів від впровадження посту діагностування здійснюється за рахунок зниження витрат на технічне обслуговування та ремонт рухомого складу, та економії палива:

$$E^H = E_{то}^H + E_{п}^H, \quad (6.23)$$

де  $E_{\text{то}}^{\text{н}}$  – економія засобів за рахунок зниження витрат на технічне обслуговування;

$E_{\text{п}}^{\text{н}}$  - економія засобів за рахунок економії палива;

Економія на ТО при новому варіанті:

$$E_{\text{то}}^{\text{н}} = (L^{\text{н}} \cdot 5 \cdot 0,9) / 100, \quad (6.24)$$

$$E_{\text{то}}^{\text{н}} = (4000 \cdot 5 \cdot 0,9) / 100 = 180,0 \text{ грн.},$$

де  $L = 4000$  мото-год загальний виробіток при новому варіанті;

Економія палива:

$$E_{\text{п}}^{\text{н}} = (L^{\text{н}} \cdot Q \cdot C_{\text{п}} \cdot 6) / 100, \quad (6.25)$$

де  $Q$  – витрата 1 л палива на мото-год роботи,  $Q = 15$  л/(мото-год);

$C_{\text{п}}$  - ціна 1 л палива,  $C_{\text{п}} = 48$  грн/л;

$$E_{\text{п}}^{\text{н}} = (4000 \cdot 15 \cdot 48 \cdot 6) / 100 = 79200,0 \text{ грн.},$$

$$E^{\text{н}} = 180,0 + 79200,0 = 79380,0 \text{ грн.}$$

Річна економія засобів від впровадження поста діагностування без врахування заробітної плати та витрат на електроенергію:

$$E_{\text{р}} = E^{\text{н}} - (K_{\text{пр}}^{\text{н}} + B^{\text{н}}), \quad (6.26)$$

$$E_{\text{р}} = 79380,0 - (450,78 + 317,12) = 78612,1 \text{ грн.}$$

Строк окупності капітальних вкладень без врахування витрат на електроенергію та на заробітну плату відповідно складає:



$$C = K / E_p = 3033,25 / 78612,1 = 0,03 \text{ року.} \quad (6.27)$$

Таблиця 6.1-Економічна ефективність

Показники		Програма діагностування	
		1	100
Трудомісткість обслуговування, люд-год;	базова	2	200
	нова	0,3	30
	Економія	+1,7	+170
Кількість обслуговуючого персоналу, чол.	базова	1	1
	нова	1	1
Капітальні вкладення, грн.	базова	276,81	276,81
	нова	3005,3	3005,3
Експлуатаційні витрати, грн.	базова	62,92	3436,8
	нова	317,12	998,2
	Економія	-254,2	+2438,6
Витрати на заробітну плату, грн.	базова	28,38	2838
	нова	5,42	452
	Економія	+22,96	+2383
Витрати на електроенергію, грн.	базова	5,7	570
	нова	1,46	146
	Економія	+4,24	+424
Термін окупності, років		0,03	

## ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

1. В результаті проведеного аналітичного дослідження встановлено, що найбільш перспективним методом діагностування технічного стану дизельних двигунів є віброакустичний метод, а оснащення двигуна датчиками контролю вібрацій і виводу в кабіну монітора усуває діагноста.

2. Встановлено чотири основні агрегати, що мають відсоток відмов більше 10 від загального числа відмов машини, це двигун – 10%, гідропривід – 48%, елементи механічних передач – 28% та електрична система – 14%, проявом яких у більшості випадків є вібрація.

3. Проаналізовано та визначено шляхи резерву системи технічного обслуговування та розроблено раціональні схеми системи обслуговування з використанням діагностування, завдяки якому можливо підвищити ресурс машини на 6–8%

4. Встановлено, що вібрація агрегатів є гарним показником їх стану, також при використанні чутливих датчиків та сучасного програмного забезпечення можливо визначити не тільки стан агрегату в цілому, а і стан окремих його вузлів і деталей.

5. Визначен, що основними джерелами вібрації в двигуні є циліндропоршнева група, а саме поршень-гільза. Поршень при проходженні верхню мертву точку перекидається, що викликає вібрацію і чим більші зазори з'єднання тим більші вібрації.

6. Не менш важливим джерелом вібрації є паливна апаратура, роз регулювання якої призводить також до виникнення вібрацій.

7. Встановлено, що вібрація агрегатів є гарним показником їх стану, також при використанні чутливих датчиків та сучасного програмного забезпечення можливо визначити не тільки стан агрегату в цілому, а і стан окремих його вузлів і деталей.

10. Розроблено заходи з охорони праці, а саме проаналізовано травматизм в господарстві та розроблено логічно-наслідкову модель роботи на фрезерному верстаті.

11. Проведена техніко-економічна оцінка вказує на доцільність впровадження діагностування в систему технічного обслуговування так як економічний ефект від її впровадження становить близько 49000 грн.

## БІБЛІОГРАФІЯ

1. Матеріали Держкомстату України [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://www.ukrstat.gov.ua>.
2. Осьмак В.Я. Розвиток конструкцій кормозбиральних комбайнів / В.Я. Осьмак, В.В Погорілий //Техніка АПК, 2005. –№ 5-6. –С.20-22.
3. Виды современных комбайнов. Ремонт и обслуживание комбайнов [Електронний ресурс] / Режим доступу <http://kazar.ru/node/6577>.
4. Калганков Є. В. Особливості фрактального аналізу поверхні руйнування гумових футерівок, що працюють в умовах абразивно-втомного зносу / Є. В. Калганков. // Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. наук. праць. — Дніпропетровск: ІГТМ НАНУ. – 2017. – №133. – С. 66–74.
5. Дорошенко О. В. Обґрунтування методів та параметрів діагностування паливних систем мобільних сільськогосподарських машин / О. В. Дорошенко, Є. В. Калганков. // Zbiór artykułów naukowych z Konferencji Międzynarodowej Naukowo-Praktycznej "Nowy sposób rozwoju Inżynieria i Technologia" Sp. z o.o. «Diamond trading tour» Warszawa. – 2017. – С. 44–50.
6. ДСТУ 9049:2020 Технічна діагностика. Діагностування та контролювання технічного стану посудин і трубопроводів під впливом агресивного робочого середовища. Загальні вимоги.
7. ДСТУ 2389-94 Технічне діагностування та контроль технічного стану. Терміни та визначення.
8. Технічне діагностування [Електронний ресурс]. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/>.
9. Калганков Е.В. Расчет долговечности резиновых футеровок шаровых рудоразмольных мельниц с учетом старения резины / Калганков Е.В. // Геотехнічна механіка: Міжвід. зб . наук . Праць , Ін-т геотехнічної механіки ім. М .С. Полякова НАН України. – Дніпропетровськ, 2013. – No 113. С. 181–202.

10. Дирда В. І. Ремонт машин та обладнання. Підручник для вищих навчальних закладів [Текст] / В. І. Дирда, П. Т. Мельянцов, О. І. Кириленко та ін. – Днівськ, Журофонд, 2015. – 292 с.

11. Калганков Є.В. Технічне діагностування об'ємних гідроприводів трансмісії як об'єктивна необхідність / Є.В. Калганков // Матеріали III Всеукраїнської науково-практичної заочної конференції «Сучасна наука: теорія і практика» (м. Запоріжжя, 28–30 листопада 2012 р.) / Всеукраїнське громадське об'єднання «Нова освіта». – Запоріжжя.: 2012. – Том II. – С. 88–90.

12. Калганков, Є.В. Обґрунтування інформативних діагностичних параметрів технічного стану об'ємного гідроприводу трансмісії ГСТ-90 / Є.В. Калганков // Вісник Дніпропетровського державного аграрного університету. – 2009. – № 2. – С. 71-74.

13. Калганков Є.В. Деякі проблеми гідроабразивно-втомного зносу деталей об'ємного гідроприводу мобільних машин / Є.В. Калганков // Гео-технічна механіка: Міжвід. зб. наук. праць. — Дніпропетровск: ІГТМ НАНУ. – 2013. – №108. – С. 133-142.

14. Дирда В. И. Определение долговечности упругонаследственных сред с использованием обобщенных критериев разрушения / В. И. Дирда, А. В. Толстенко, Е. В. Калганков. // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2013. – №4. – С. 4–7.

15. Мельянцов П. Т. Організація використання техніки за умов дефіциту матеріально - технічних ресурсів / П. Т. Мельянцов, Є. В. Калганков. // Zbiór raportów naukowych. „Inżynieria i technologia. Teoria. Praktyk Sp. z o.o. «Diamond trading tou. – 2010. – С. 84–87.

16. Осьмак В. Розвиток конструкцій кормозбиральних комбайнів / Осьмак В., Погорілий В. // Техніка АПК, 2005. – № 5 - 6. – С.20-22.

17. Виды современных комбайнов. Ремонт и обслуживание комбайнов [Електронний ресурс] / Режим доступу [http:// kazap.ru/node/6577](http://kazap.ru/node/6577).

18. Волошин Р.В. Обґрунтування ефективних методів діагностування агрегатів мобільних сільськогосподарських машин / Р.В. Волошин, Є.В. Калганков // Матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції "Інтеграція світових наукових процесів як основа суспільного прогресу": ГО «Інститут інноваційної освіти»; Науково-учбовий центр прикладної інформатики НАН України. – Київ. 2018. – С. 200-205.
19. Башта Т.М. Техническая диагностика гидравлических приводов./ Т.М. Башта, Т.В. Алексеева, В.Д. Бабанская – М.: Машиностроение, 1989. – 264 с.
20. Калганков Є.В. Розробка технологічного процесу відновлення деталі [Методичні рекомендації] / Калганков Є.В. – Дніпро: ДДАЕУ, 2021. – 75 с.
21. Бельских В. И. Диагностирование и обслуживание сельскохозяйственной техники / Бельских В. И.-М.: Колос, 1980. - 575 с.
22. Калганков Е.В. Расчет долговечности резиновых футеровок шаровых рудоразмольных мельниц с учетом старения резины / Калганков Е.В. // Геотехнічна механіка: Міжвід. зб . наук . Праць , Ін-т геотехнічної механіки ім. М .С. Полякова НАН України. – Дніпропетровськ, 2013. – № 113. С. 181–202.
23. Обобщенная теория износа упруго-наследственных сред / А. С.Кобец, В. И. Дырда, Е. В. Калганков, И. Н. Цаниди. // Вісник Дніпропетровського державного аграрного університету. – 2012. – №2. – С. 81–84.
24. Нижняк Д.В. Визначення показників надійності колінчатих валів автотракторних двигунів / Нижняк Д.В., Калганков Є.В., Дирда В.І. // Inżynieria i technologia. 2014. osiągnięć, projektu hipotezę. (29.12.2014 - 30.12.2014) – Warszawa: – 2014. – С. 8-13.
25. Калганков Є. В. Особливості фрактального аналізу поверхні руйнування гумових футерівок, що працюють в умовах абразивно-втомного

знос / Є. В. Калганков. // Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. наук. праць. — Дніпропетровск: ІГТМ НАНУ. – 2017. – №133. – С. 66–74.

26. Асатурян В.И. Теория планирования эксперимента / Асатурян В.И.. М.:, 1983. - 247 с.

27. Аллилуев В.А. Исследование виброакустических каналов цилиндрической группы двигателей внутреннего сгорания / Аллилуев В.А., Соловьев В.И.// Диагностика, повышение эффективности, экономичности и долговечности двигателей . – Записки ЛСХИ, т. 256, 1974, с 8-11.

28. Закон України “Про охорону праці” / Законодавство України про охорону праці. - К. Нова редакція 2002 р.

29. Закон України "Про загальнообов'язкове державне соціальне страхування" [Електронний ресурс] // Відомості Верховної Ради України (ВВР). - 1999, - № 46-47, - с. 403. - Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1105-14#Text>

30. Економіка ремонтного підприємства: підручник. / [Аветісян В.К., Бантковський В.А., Луценко А.П. та інші] – Харків, ХНТУСГ, 2005 – 374 с.

31. Калганков Є.В. Методичні рекомендації до виконання і оформлення дипломних проектів ОС "Бакалавр" за спеціальністю 208 "Агроінженерія" і дипломних робіт ОС "Магістр" за спеціальністю 208 "Агроінженерія" / Калганков Є.В. – Д.: ДДАЕУ, 2021. – 36 с.