

ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ



ФАКУЛЬТЕТ БУДІВНИЦТВА, ТРАНСПОРТУ ТА  
ЕНЕРГЕТИКИ



КАФЕДРА «ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ МАШИН»

## КВАЛІФІКАЦІЙНА МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

на тему:

«Удосконалення оперативного діагностування дизельних  
двигунів за поточними параметрами оливи у КАТП  
«Агробудавтосервіс» м. Кропивницький»

**Виконав:**

магістрант групи АТ-23М-1 Владислав ВОЛКОВ  
(шифр групи) (підпис) (ім'я та прізвище)

**Керівник:**

канд. техн. наук, доцент Сергій МАРКОВИЧ  
(науковий ступінь, вчене звання) (підпис) (ім'я та прізвище)

**«ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ»**

**Завідувач кафедри:**

канд. техн. наук, доцент Сергій МАГОПЕЦЬ  
(науковий ступінь, вчене звання) (підпис) (ім'я та прізвище)

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 р.

**Рецензент:**

\_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_  
(науковий ступінь, вчене звання) (підпис) (ім'я та прізвище)

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 р.

Кропивницький – 2024 р.

ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ  
ФАКУЛЬТЕТ БУДІВНИЦТВА, ТРАНСПОРТУ ТА ЕНЕРГЕТИКИ  
КАФЕДРА «ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ МАШИН»

Рівень вищої освіти: другий (магістерський) рівень вищої освіти

Галузь знань: 27 «Транспорт»

Спеціальність: 274 «Автомобільний транспорт»

Освітньо-професійна програма: «Автомобільний транспорт»

**«ЗАТВЕРДЖУЮ»**

Завідувач кафедри «Експлуатація та  
ремонт машин»

\_\_\_\_\_ Сергій МАГОПЕЦЬ

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 р.

**ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ**

Волкову Владиславу Ігоровичу

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема роботи «Удосконалення оперативного діагностування дизельних двигунів за поточними параметрами оливи у КАТП «Агробудавтосервіс» м. Кропивницький»

керівник роботи: Маркович Сергій Іванович, канд. техн. наук, доцент

(прізвище, ім'я, по батькові)

(науковий ступінь)

(вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від «\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 року  
№ \_\_\_\_\_

2. Строк подання здобувачем роботи «\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 р.

3. Вихідні дані до роботи: дані переддипломної практики; технологічні карти дефектування та ремонту колінчастих валів в КАТП «Агробудавтосервіс»; Лудченко О.А. Технічне обслуговування і ремонт автомобілів. – К.: Знання-Прес, 2003. – 511 с.; Ремонт автомобілів: Навчальний посібник/ Упор. В.Я. Чабанний. - Кіровоград: Центрально-Українське видавництво, 2007. - 348 с. Експлуатація та ремонт двигунів внутрішнього згорання. Навчальний посібник для здобувачів вищої освіти вищих навчальних закладів. / Укл. Маркович С.І., Бевз О.В. - Кропивницький: ЦНТУ, 2022. - 315 с.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно

розробити): Вступ, реферат

4.1 Розділ 1. Обґрунтування напрямку наукових досліджень

4.2 Розділ 2. Аналіз об'єкта досліджень

4.3 Розділ 3. Дослідження впливу зміни параметрів об'єкта

4.4 Розділ 4. Обґрунтування ефективності прийняття рішень

5. Перелік ілюстративного матеріалу:

1. Назва роботи, ціль роботи, предмет та об'єкт досліджень, задачі, наукова новизна, практичне значення дослідження та публікації.

2. Ілюстративні матеріали що до обґрунтування напрямку наукових досліджень.

3. Ілюстративні матеріали що до аналізу об'єкта досліджень.

4. Ілюстративні матеріали що до дослідження впливу зміни параметрів об'єкта

5. Ілюстративні матеріали що до обґрунтування ефективності прийняття рішень

6. Висновки

## ГРАФІК ВИКОНАННЯ ЕТАПІВ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

| № з/п | Назва етапів кваліфікаційної магістерської роботи            | Строк виконання етапів роботи | Примітка |
|-------|--------------------------------------------------------------|-------------------------------|----------|
| 1     | <u>Вступ, реферат</u>                                        | 30.10.2024 р.                 |          |
| 2     | <u>Розділ 1. Обґрунтування напрямку наукових досліджень</u>  | 02.11.2024 р.                 |          |
| 3     | <u>Розділ 2. Аналіз об'єкта досліджень</u>                   | 05.11.2024 р.                 |          |
| 4     | <u>Розділ 3. Дослідження впливу зміни параметрів об'єкта</u> | 13.11.2024 р.                 |          |
| 5     | <u>Розділ 4. Обґрунтування ефективності прийняття рішень</u> | 28.11.2024 р.                 |          |
| 6     | Формування ілюстративних матеріалів                          | 01.12.2024 р.                 |          |
|       |                                                              |                               |          |
|       |                                                              |                               |          |
|       |                                                              |                               |          |
|       |                                                              |                               |          |
|       |                                                              |                               |          |

Магістрант \_\_\_\_\_  
(підпис )

ВОЛКОВ В.І.  
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи \_\_\_\_\_  
(підпис )

Сергій МАРКОВИЧ  
(ім'я та прізвище)

## РЕФЕРАТ

Метою даної магістерської роботи є створення методу діагностування по параметрам поточної оливи, що дозволяє корекцією періодичності технічного обслуговування довести до мінімуму різницю між параметрами потенційного та фактичного ресурсу ДВЗ.

Об'єкт дослідження: Процес спрацювання поверхонь двигуна, що супроводжується експортом заліза в мастильну систему

Предмет дослідження: залежності між станом поверхонь тертя та надходженням заліза в мастильну систему двигуна

В першому розділі проаналізовано основні методи діагностування ДВЗ: вібраційна діагностика, діагностика по об'єму газів, що прориваються в картер та по стану моторного оливи. Визначивши ефективність діагностування по стану оливи, визнано відсутність досліджень взаємозв'язку надходження заліза в систему з зношенням елементів ДВЗ, що і визначено задачею наукових досліджень .

В другому розділі вибрано устаткування та вибрана методика проведення відбору зразків, виміру зносу, розподілення заліза та дослідження вмісту заліза в зразках поточної оливи.

В третьому розділі досліджено зношування деталей ДВЗ та визначення потенційної швидкості надходження заліза в мастильну систему в результаті зношування дзеркала ГЦ, шийок колінчастого валу та поршневих кілець. Досліджено розподіл заліза за елементами мастильної системи, та наведені результати стендових випробувань ДВЗ Д-240

В четвертому розділі приведено результати та відображено ефективність проведених досліджень

Кваліфікаційна магістерська робота складається з вступу, 4 розділів, висновків; містить 65 сторінок тексту, 21 рисунок, 11 таблиці.

## ЗМІСТ

|                                                                                                 |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| РЕФЕРАТ                                                                                         | 3  |
| ЗМІСТ                                                                                           | 4  |
| ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ                                                                       | 6  |
| ВСТУП                                                                                           | 7  |
| РОЗДІЛ 1                                                                                        | 9  |
| ОБҐРУНТУВАННЯ НАПРЯМКУ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ                                                      |    |
| 1.1. Аналіз та перспективи методів управління умовами експлуатації ДВЗ                          | 9  |
| 1.2. Аналіз існуючих способів діагностування ДВЗ                                                | 14 |
| 1.3. Контроль умови експлуатації ДВЗ та їх діагностику за хімічними показниками моторного оливи | 25 |
| 1.4. Мета та завдання досліджень                                                                | 30 |
| РОЗДІЛ 2                                                                                        |    |
| АНАЛІЗ ОБ'ЄКТА ДОСЛІДЖЕНЬ                                                                       | 32 |
| 2.1. Вибір та обґрунтування об'єктів дослідження                                                | 32 |
| 2.2. Пристрій для контролю рівня заліза в поточній оливі ДВЗ                                    | 33 |
| 2.3. Методика вимірювання показників зношування деталей ДВЗ                                     | 35 |
| 2.4. Методика дослідження технічних показників при стендових випробуваннях ДВЗ                  | 35 |
| 2.5. Методика дослідження технічних показників під час експлуатаційних випробувань ДВЗ          | 38 |
| 2.6. Устаткування, прилади та технологічне обладнання для проведення досліджень                 | 39 |
| РОЗДІЛ 3                                                                                        |    |
| ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЗМІНИ ПАРАМЕТРІВ ОБ'ЄКТА                                                     | 41 |
| 3.1. Аналіз зношування деталей ДВЗ та визначення потенційної                                    | 41 |

|                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------|----|
| швидкості надходження заліза в мастильну систему                   |    |
| 3.1.1. Аналіз зношування дзеркала ГЦ                               | 41 |
| 3. 3.2. Аналіз зношування шийок колінчастого валу                  | 50 |
| 3.1.3. Аналіз зношування поршневих кілець                          | 52 |
| 3.2. Дослідження розподілу заліза за елементами мастильної системи | 54 |
| ДВЗ                                                                |    |
| 3.3. Результати стендових випробувань ДВЗ Д-240                    | 56 |
| РОЗДІЛ 4                                                           |    |
| ОБҐРУНТУВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ                        | 60 |
| 4.1. Визначення залишкового ресурсу ДВЗ                            | 60 |
| ВИСНОВКИ                                                           | 62 |
| ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ                                        | 63 |

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ЦПГ – циліндро-поршнева група

КВ – колінчастий вал

ГЦ – гільза циліндрів

КШ – корінні шийки колінчастого вала

ШШ – шатунні шийки колінчастого вала

РМЦ - ротор реактивної оливної центрифуги і фільтр

АТЗ - автотранспортні засоби

АТТ - автотракторна техніка

ВМТ - верхня мертва точка

ДВЗ - двигун внутрішнього згоряння

ДП - дизельне паливо

ККД - коефіцієнт корисної дії

ВГ - відпрацьовані гази

НС - навколишнє середовище

ПА - паливна апаратура

ТО - технічне обслуговування

ТО-2 - технічне обслуговування №2

ПР - поточний ремонт

## ВСТУП

Основною тенденцією сучасного машинобудування є швидке і неухильне зростання потужностей і швидкостей машин, що випускаються, при одночасному зниженні їх ваги. Тому невідпинно підвищуються вимоги до якості деталей машин, особливо, до їхньої надійності та довговічності. Ці фактори визначається процесами, що протікають у трибологічних системах, які можна представити як «матеріали пари тертя – мастильний матеріал». Дані системи можуть характеризуватись коефіцієнтом тертя, прироблюваністю, зносостійкістю, пристосовуваністю та самоорганізацією. Тому розробка засобів та методів контролю стану системи та процесів, що відбуваються в ній, є актуальним завданням, вирішення якого дозволить створити теоретичні та практичні розробки, спрямовані на підвищення надійності механічних систем.

Процеси, що відбуваються в трибосистемах, значною мірою залежать від властивостей мастильного матеріалу, які задаються за допомогою їхнього легування функціональними присадками або їх комплектом. Однак при експлуатації техніки, властивості мастильного матеріалу (в'язкісні, окисні, фрикційні, диспергуючі та ін) змінюються внаслідок протікання окислювальних процесів, температурної та механічної деструкції, хімічних реакцій матеріалів деталей машин з продуктами, що утворюються при старінні масел, а також забруднюються продуктами зносу деталей, зокрема магнітними частками заліза

Ці процеси більшою мірою залежать від стану спряжених деталей, а якщо врахувати, що вони інтенсивніше протікають на поверхнях тертя, за рахунок більш високих температур, навантажень та каталітичного впливу матеріалів пар тертя, стає зрозумілим, наскільки вагомий зв'язок та взаємовплив елементів цієї системи на її надійність. Порівнюючи параметри

оцінки технічного стану ДВЗ визначено, що одним з найбільш дієвих факторів для визначення стану двигуна є параметри концентрації заліза в оливі, як найкращий показник стану ДВЗ. Це технічний параметр пов'язаний з безліччю факторів, що впливають на збільшення швидкості зношування деталей ДВЗ, тобто, на швидкість надходження заліза до оливи. При цьому необхідно зазначити що аномальне підвищення концентрації заліза в картерній оливі починається за 6-8 тис. км пробігу до появи вогнищ повного руйнування деталей і сигналізує про необхідність проведення робіт з усунення несправностей. Все це викликає необхідність застосовувати періодичність відбору проб оливи для аналізу через пробіг 1,5-2 тис. км. А так як в основі технічної експлуатації в даний час лежить планово-запобіжна система технічного обслуговування і ремонту, то не своєчасне попередження про виникнення загроз породжує втрати під час використання. Чим більшими втратами загрожує відмова, тим виправданіші витрати на створення резерву надійності в процесі планово - попереджувальних заходів. Регулювання технічного стану за допомогою планових режимів є більш прийнятним для техніки з високими показниками якості та надійності, у якої розбіжність термінів служби з прийнятими не має високих значень.

В роботі були проведені експериментальні дослідження та встановлено взаємозв'язок між спрацюванням елементів ДВЗ та надходженням заліза в мастильну систему. При цьому досліджувалось спрацювання внутрішньої поверхні гільз циліндрів, поверхні корінних та шатунних шийок колінчастого вала та спрацювання поршневих кілець.

Встановлені граничні параметри швидкості надходження заліза до мастильної системи для ресурсного періоду, за умови дотримання умов експлуатації, при цьому на основі наявності даних про ступінь і зношеності деталей можна з великою достовірністю визначити залишковий ресурс ДВЗ, а при постійному контролі швидкості надходження

заліза в мастильну систему і, отже, умов експлуатації, максимально використовувати ресурс, закладений заводом-виробником.

## РОЗДІЛ 1

### ОБГРУНТУВАННЯ НАПРЯМКУ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### 1.1. Аналіз та перспективи методів управління умовами експлуатації ДВЗ

Процес експлуатації ДВЗ супроводжується природним зношуванням, наслідком якого є погіршення його техніко-економічних показників. Для підтримки зазначених показників у встановлених нормативно-технічною документацією межах, необхідно керувати технічним станом ДВЗ, це забезпечується відповідними положеннями технічної експлуатації [64, 89, 95].

В основі технічної експлуатації в даний час лежить планово-запобіжна система технічного обслуговування і ремонту (ППСТО і ПР). Загрожує втратами під час використання. Чим більшими втратами загрожує відмова, тим виправданіші витрати на створення резерву надійності в процесі планово-попереджувальних заміन. Регулювання технічного стану за допомогою планових режимів є більш прийнятним для техніки з високими показниками якості та надійності, у якій розбіжність термінів служби з прийнятими не має високих значень.

Оперативне постачання якісними запасними частинами та експлуатаційними матеріалами, повне оснащення ремонтно-обслуговуючої бази технологічним обладнанням та забезпечення за допомогою цих засобів регламентного технічного обслуговування (ТО), підвищує напрацювання на відмову майже в 2 рази, коефіцієнт готовності в середньому на 20% дозволяє знизити витрати на ТОР не менше, ніж на 15-20% [14].

На сьогоднішній день існує кілька основних форм ТО:

- у пунктах ТО та ремонтних майстерень господарств;
- обслуговування машин, насамперед енергонасичених, засобами господарств спільно із станціями технічного обслуговування (СТО);
- обслуговування заводом-виробником та його структурними підрозділами, що спеціалізуються на проведенні ТО.

Остання форма ТО отримала найширше застосування. Це пов'язано з енергонасиченістю техніки, наявністю на ній специфічного обладнання, а також застосуванням при проведенні ТО спеціального обладнання. Однак, фірмовий ремонт і ТО машин заводами-виробниками виконується в незначному обсязі і не перевищує 2-3% загального обсягу робіт [13]. Технічні центри заводів у період гарантійного обслуговування в основному забезпечують споживачів запасними частинами та ремонтними матеріалами. Ще один з можливих шляхів суттєвого підвищення ефективності використання ДВЗ - обов'язкове виконання операцій передпродажної підготовки, перелік і зміст яких визначаються з урахуванням особливостей конструкції, виробництва та експлуатації його систем [4, 12].

Управління експлуатаційною надійністю ДВЗ передбачає оптимальне формування всіх її складових: безвідмовності, довговічності, ремонтпридатності, збереження та включає заходи, спрямовані на підтримку основних показників у заданих межах протягом усього часу, визначеного ресурсом. Найбільший вплив на темпи зміни технічного стану надають експлуатаційні фактори. Несправності найчастіше виникають внаслідок порушення теплових і навантажувальних режимів, поганого або неповного ТО, а також через використання неякісних сортів палива та моторного оливи.

За даними спостережень за 69 ДВЗ СМД-62, частка виконуваних операцій ТО в середньому за видами склала: змінне - 4%, ТО-1 - 3%, ТО-2 - 18%, СО-3 - 28%. У період гарантійного обслуговування лише менш, ніж 5% дизелів, загальний обсяг проведених операцій ТО становив 90% . Більш ніж на

70% дизелів ТО проводиться в обсязі 20-40% [6].

Нинішнє становище в економіці послаблює ефективність планово-попереджувальних ремонтних впливів, стимулює стратегію виконання ремонтів при виникненні відмов, а також удосконалення діагностичної бази. Одночасно, економічні зміни підкріплюватимуться зміною паритетів між цінами сільськогосподарської продукції та ціною техніки, запасних частин, послуг технічного сервісу.

Розглядаючи проблему розвитку ТО в сучасних умовах, слід зазначити переміщення оптимуму у бік діагностування, попередження та усунення несправностей та відмов. Така еволюція означає підвищення ролі діагностування при оцінці технічного стану. Вона дозволить розвивати ті його види, які мають перспективи.

Впровадження методів і засобів діагностування зменшує недовикористання ресурсу елементів машин, що замінюються, і змінює необхідність попереджувального характеру стратегії технічної експлуатації.

Важливе місце тут приділяється електронній апаратурі, яка стає невід'ємною частиною сучасної техніки. У той же час продовжується з'ясування питання про те, що являє собою застосування електронної апаратури - моду, що затягнулася, на престижне оформлення приладової панелі або реальний засіб підвищення якості роботи, оптимального вибору умов експлуатації і, як наслідок, продовження терміну служби автомобілів і збільшення рентабельності перевезень.

Фактично це питання вже давно має однозначну відповідь. Застосування електронних засобів автоматичного контролю та управління - достатньо потужний засіб використання закладених властивостей автомобіля. Реальний ефект від впливу інформаційних систем має різноманітний характер, але в основному його можна звести до чотирьох груп.

Перша група поєднує одержання ефекту від скорочення числа аварій, викликаних відхиленнями, непоміченими за звичайними контрольними

приладами. Основне місце тут займають ефекти від контролю таких параметрів

ДВЗ, як тиск оливи в системі мащення ДВЗ і температури в системі охолодження. Проведена свого часу експертна оцінка показала, що застосування контролю цих параметрів спільно з аварійною сигналізацією і примусовою зупинкою ДВЗ може приблизно на 30% скоротити передчасний вихід з ладу ДВЗ. Переважно пред'явлення інформації як повідомлення про вихід тій чи іншій контрольованої величини межі, задані пороговими значеннями.

Друга група включає прилади, що дозволяють здійснювати контроль за дотриманням умов експлуатації: своєчасною заміною оливи, фільтруючих елементів, підтримання оптимального навантаження та ін. Ця група дозволяє найбільш повно використовувати закладений в двигун ресурс.

Третя група включає ефекти від контролю за найбільш важливими параметрами ходу технологічних параметрів транспортного процесу.

Четверта група включає рекомендаційні системи, що є подальшим розвитком інформаційних систем і відрізняються тим, що на основі первинної інформації виробляють рекомендації водію - з керування машиною, слюсарю - з її обслуговування. При цьому будуть застосовуватися досить складні програми, що містять алгебраїчні, логічні та тимчасові співвідношення в межах системи команд процесора. Однак, оскільки за оператором залишається право вибору прийняти або не прийняти пропоновану рекомендацію, яку він реалізує із залученням додаткової інструментальної

інформації та прогнозування, програмне забезпечення радних систем може не претендувати на абсолютну оптимізацію, спираючись на менш точні, але і більш прості алгоритми, і, завдяки цьому, вписується в розумні та доступні апаратні рішення. Для прикладу, ефективність системи на вибір передач, підтверджується випробуваннями багатьох зразків.

Виражається вона у підвищенні продуктивності в середньому на 5 ... 10% і, приблизно в такому ж зниженні витрати палива на кожен кілометр пробігу [14].

Надалі, в міру здешевлення апаратних засобів та вдосконалення набору реалізованих функцій та алгоритмів, застосування електронних засобів автоматичного контролю та управління має зростати.

Сучасні автомобілі насичені засобами електронного та мікро-процесорного управління, зокрема, бортовими комп'ютерами, які збирають інформацію, що знімається з численних датчиків, обробляють її та демонструють результати аналізу водію на приладову дошку та дисплей. Вони також попереджають про небезпечний стан вузлів і агрегатів за допомогою аудіо- та відеоканалів і керують різними системами трактора. Шведська фірма "ACEA" пішла далі і розробила електронну систему збору та обробки даних "Чильдет СМ" про технічний стан ДВЗ [10]. Основну увагу приділено контролю стану циліндропоршневої групи, як ресурсу визначальної складової ДВЗ. Зношування поршневих кілець оцінюється за сигналами індуктивного датчика, що реєструє щільність їх прилягання до ГЦ. Для контролю змащування та якості поверхні пар, що труться, в системі використані поверхневі термопари. Контролюється також стан паливної апаратури та турбокомпресора. При аналізі, отримані значення порівнюються бортовим комп'ютером з отриманою раніше еталонною величиною [9].

Комплекс засобів діагностування фірми "МАК" складається з датчиків, центрального блоку первинної обробки інформації та допоміжної апаратури. Він передбачає, як і в першому випадку, охоплення діагностичним контролем не тільки основних вузлів дизеля, а й допоміжних пристроїв (насосів, фільтрів, теплообмінників) [9].

Застосування зарубіжних електронних систем діагностування для вітчизняних ДВЗ неможливе через відмінність у параметрах показників

роботи вузлів та агрегатів та інших проблем. Крім того, вітчизняними НДІ та вченими розроблено багато методів діагностики ДВЗ, але вони не використовуються повною мірою і вимагають узагальнення та аналізу, а також пошуку нових рішень.

Незважаючи на те, що цей напрямок є перспективним, він, однак, набув широкого застосування відносно недавно. Залишається досить багато прогалин, заповнення яких дозволило б оптимізувати вибір показників і засобів контролю, відповідно поставленої задачі і цей напрямок є пріоритетним.

## 1.2. Аналіз існуючих способів діагностування ДВЗ

Системи якісної діагностики та надійного прогнозування ресурсу ДВЗ є одним з найважливіших факторів управління ефективністю, експлуатаційною надійністю та довговічністю автомобілів та входять складовою частиною в систему ТО. Вони розвиваються на принципах безрозбірності, універсальності методів і засобів, комплексності приладів та установок, визначенні необхідного комплексу впливів, що тією чи іншою мірою відновлюють працездатність машини, забезпечення високої оперативності та ефективності їх використання в технологічному процесі.

У розвитку методів діагностування ДВЗ існують такі етапи:

- до першого етапу (1950-1960 р.р.) відносяться прилади для оцінки технічного стану складальних одиниць та з'єднань під час проведення ТО;
- до другого етапу (1960-1970 р.р.) відносяться прилади та комплекти приладів як стаціонарних, так і переносних або пересувних;
- третій етап відноситься до кінця 60-х років, у цей час розпочалися дослідження з розробки засобів технічного діагностування та контролю [12].

Діагностичні прилади першого етапу функціонували на основі механічних, а потім електричних засобів вимірювання та контролю, і

тестували

один-два структурні параметри ДВЗ. Їх було об'єднати в систему, т.к. вони були призначені для комплексної оцінки технічного стану всього ДВЗ, тобто. не давали повної картини його стану в цілому. Крім того, негативним фактором є застосування діагностування спільно з ТО, що виключає проведення оперативних запобіжних заходів для оптимізації умов експлуатації [9].

На другому етапі з появою комплектів діагностичних приладів, що дозволяють контролювати основні структурні параметри ДВЗ, з'явилася можливість побудови системи чи підсистеми. Базуватись вони можуть на пункті ТО, агрегаті ТО, у пересувній діагностичній установці, на одному або декількох стаціонарних залишках, а також на лінії діагностування. Ця система об'єднана необхідними технічними процесами діагностування, зумовленими правилами ТО та ремонту машин. У більш досконалій системі є комплект діагностичних датчиків з універсальним вимірювальним пристроєм. До таких систем належать мотортестер для діагностування стану ДВЗ. Негативною стороною цього обладнання є велике значення людського фактора [8, 4, 12].

Третім етапом, найдосконалішим, є автоматизована система діагностування. Вона відрізняється від попередніх двох наявністю аналізуючого пристрою, автоматизованого знімання, обробки та видачі інформації. Необхідність створення автоматизованих засобів технічного діагностування стала очевидною з наступних причин:

- дуже високою тривалістю діагностування окремими розрізненими приладами, порівняно з іншими операціями ТО;
- неможливістю визначення технічного стану без отримання надійного прогнозу зміни його у майбутньому;
- еволюцією розвитку техніки (оснащення бортовими комп'ютерами та електронними системами управління).

Для методів третього етапу є кілька схем класифікації

засобів контролю технічного стану [12]. Відомі наступні класифікації систем контролю:

- залежно від якості контрольованих агрегатів та частин виробу;
- характеру на об'єкт;
- використовуваних засобів контролю;
- ступеня автоматизації контролю;

Вченими запропоновано класифікувати засоби контролю, вибравши як основну монтажну ознаку (пересувні, переносні та стаціонарні) з урахуванням зв'язків між іншими групами ознак [12].

Діагностування також ділять на дослідницьке, стендове та експлуатаційне, але це певною мірою умовно, оскільки оцінка технічного стану об'єкта в експлуатації визначається також і рівнем технічної досконалості конструкції в даний момент часу. У той же час при дослідному та експлуатаційному діагностуванні можливості реалізації рішень різні. Для першого, як правило, немає обмежень у час прийняття рішень. З метою досягнення об'єктивного, обґрунтованого вибору рішень можуть бути використані різні методи та засоби, що визначають високу точність. У більшості випадків не накладаються обмеження на масові та габаритні показники пристрою вимірювання та реєстрації, їх вартість, показники надійності і т.д. Для експлуатаційного діагностування характерна необхідність встановлення швидкого діагнозу надійними засобами.

Для діагностики ДВЗ та управління його умовами експлуатації трактори обладнані рядом штатних приладів, які реєструють деякі показники (температура охолоджуючої рідини, тиск у мастильній системі тощо). Ці показники за класифікацією Гусакова С.В. [35], відносяться до першої групи і називаються «умовно-постійні».

До групи «умовно-постійні» також належать: частота обертання колінчастого валу та крутний момент ДВЗ, годинні витрати палива та повітря, тощо. Ці показники визначаються на спеціально обладнаних постах ТО. Час

для їх реєстрації теоретично не обмежений, і практично при неавтоматизованому зборі інформації становить кілька хвилин. Здійснює цю операцію тракторист і приймає за нею відповідні рішення. Ці інформатори повинні забезпечити ресурс ДВЗ, проте, як показує практика, вони не здатні повною мірою здійснювати дану функцію у зв'язку з тим, що не мають достатньої інформативності.

Цю другу групу показників Гусаков ВС пропонує назвати «швидкодіючими». До них відносяться специфічні параметри, пов'язані з циклічністю роботи поршневого ДВЗ: миттєва витрата газу у впускному та випускному трубопроводах; зміни тиску та температури робочого тіла в циліндрі в міру повороту колінчастого валу ДВЗ; зміна тиску лінії нагнітання паливного насоса дизеля; швидкість надходження заліза в мастильну систему тощо [12]. Ці показники повинні зайняти місце серед показників оперативного діагностичного контролю. Проблема полягає в тому, що оцінка цієї інформації оператором-трактористом і прийняття необхідних рішень неможливо без обладнання, що акумулює і аналізує її з наступною видачею рекомендацій. Таку оперативність має тільки електронна апаратура.

В даний час технічне діагностування набуває все більшого поширення. Основним його завданням є виключення суб'єктивної оцінки технічного стану об'єкта, що можливо при вирішенні завдань встановлення діагнозу за допомогою спеціальних технічних засобів.

Дані свідчать про велику варіацію значень відносних частот відмов структурних підрозділів різних моделей. Як структурного підрозділу розглядається сукупність функціонально зв'язаних елементів конструкції, стан яких можна оцінювати спільними діагностичними параметрами.

При виборі діагностичних показників враховуються такі основні вимоги та фактори:

- кількість вибраних діагностичних показників має бути достатньою для вирішення задачі встановлення стану ДВЗ;

- рівень розробки математичних моделей, що відображають функціональні або статистичні зв'язки між конструктивними, режимними та діагностичними параметрами ДВЗ;

- наявність та точність існуючих засобів вимірювання інформативних параметрів ДВС та можливість розробки нових засобів, що задовольняють вимогам до класу точності, розмірів, умов експлуатації, вартості тощо;

- можливість зв'язку системи технічного діагностування (СТД), що розробляється, з обчислювальними засобами, зокрема з ЕОМ; область використання та призначення СТД;

- економічну доцільність розробки та використання СТД;

- вітчизняний та зарубіжний досвід розробки приладів та СТД.

При стаціонарному базуванні СТД проведення робіт здійснюється за регламентом через певні часові відтинки. Незалежно від апаратного забезпечення обробки інформації, діагностичний аналіз передбачає наступне:

- визначення відхилень вимірюваних параметрів показників;

- обчислення параметрів технічного стану вузлів та агрегатів ДВС та порівняння отриманих величин з їх еталонними значеннями;

- визначення зміни параметрів установки та економічний розрахунок доцільності проведення робіт із відновлення їх первісних значень [7].

Неможливість у більшості випадків прямого вимірювання зносу деталі в працюючому об'єкті призводить до необхідності пошуку таких замінних показників, які перебували б у тісному зв'язку зі зносом деталі і були наслідком цього інформативними. Кожен з них може з прийнятним ступенем точності характеризувати знос деталі і вибиратися в якості діагностичного. Для цієї мети дослідниками розроблено ряд способів, які за інформаторами, що використовуються, можна об'єднати в сім груп: температурний, надлишковий тиск або розрядження, технічні характеристики ДВЗ, зазори в з'єднаннях, склад відпрацьованих газів і масел (рисунк 1.1). Всі ці групи

засновані на встановлених залежностях за непрямыми показниками - інформаторами, які дають можливість оцінити технічний стан ДВЗ в цілому і окремих груп деталей спільно.

Проаналізуємо використання цих аналітичних груп з погляду отримання достовірної інформації за мінімальних витрат часу і коштів.

Застосування способів температурної групи вимагає проведення спеціальних робіт із встановлення додаткових датчиків та приладів на контрольованих деталях або в системі газопроводу, як штатні прилади, на об'єктах діагностування, або їх монтажу періодично при операціях ТО [5, 8]. Клюкін Л.М. та Наседін А.В. теоретично обґрунтували основні вимоги до приладу для діагностування ДВЗ за температурним параметром з використанням як датчиків плівки холестеричних рідких кристалів [3]. Застосування цього способу можливе тільки за умови комплектування ДВЗ необхідним обладнанням на заводі-виготовлювачі і систем, що передають інформацію на панель приладів, а також відсутність адекватних методів діагностування та невивченість зв'язку процесів роботи машини з результативним температурним рельєфом.

Використання інформаторів другої групи - надлишкового тиску чи розрядження, вимагає відповідного устаткування, додаткових розбірних операцій та приєднання приладів, що пов'язані з виведенням техніки з виконання робіт, тобто. збільшенням часу ні простою. Крім цього методики виконання цих способів не забезпечують необхідну точність та інформативність [11]. Тим не менш, два способи з цієї групи набули широкого поширення: тиск оливи в системі мастила і компресія (тиск в кінці такту стиснення при прокручуванні ДВЗ). Однак, на результат діагностування за цими інформаторами впливає багато факторів (в'язкість оливи, температура охолоджуючої рідини та ін.). Ще однією негативною стороною є те, що спостерігати динаміку зміни параметрів цих показників дуже важко. Наприклад, конструкцією мастильної системи ДВЗ передбачені

елементи що дозволяють значний час (близько 75%) автоматично забезпечувати тиск у ній у заданих межах [ 3, 8,15] і тільки після відпрацювання цього періоду, воно досить швидко знижується, сигналізуючи про те, що подальша експлуатація ДВЗ може призвести до нестандартної ситуації. Основними умовами для оцінки стану ЦПГ за компресією є рівність і сталість частоти обертання колінчастого валу, температура стінок циліндрів та ін. Дотримання зазначених умов не завжди можливе. Отже, і компресія є орієнтовним показником стану ЦПГ [11].

До групи «технічні характеристики» відносяться: час розгону, частота обертання колінчастого валу при почерговому відключенні циліндрів (метод Ждановського), крутний момент, потужність, рівень шуму, амплітуда і наростання вібрацій [2, 4, 6, 8, 12 ]. Говорячи про два з них, потужність ДВЗ і мінімальну стійку частоту обертання, можна сказати, що протягом усього періоду експлуатації перша змінюється від номінальної до допустимої всього на 8...9%, друга на 15%, тоб то величини дуже малі і, отже, низько інформативні [8]. Крім того, вони дуже відносні так, як на контрольовані показники сильно впливає якість палива, температура навколишнього середовища, атмосферний тиск та інше.

Вібраційна діагностика орієнтована на використання інформації, що міститься в коливальних процесах машин. Принцип роботи цього методу побудований на високій чутливості характеристик коливальних процесів, поширенні пульсацій швидкості або тиску в робочих середовищах вузлів, полях силових дій і т.д. Недоліками цього є складність відділення корисних сигналів від сигналів перешкод, що виникають з інших джерел коливання, і навіть те, що діагностування техніки може здійснюватися лише з СТО [7,12].

Недоліками методів групи «технічні показники» і те, що потрібно громіздке устаткування, виведення техніки з експлуатації під час діагностування, непрямість способу, тобто. залежність від факторів, що не належать до стану діагностованого ДВЗ (якість палива,

фільтруючих елементів системи живлення тощо), необхідність високого ступеня дотримання правил їх застосування, а також, що вони не можуть носити попереджувальний характер. Всі ці фактори і останній, особливо, говорять про необхідність застосування інших способів.

Визначення зазорів у з'єднаннях - група, яка має високу точність, але потребує вбудованих приладів або розбиральних робіт і, як наслідок, виведення техніки з експлуатації. Ця група дає можливість констатувати зношування деталей ДВЗ без можливості попередження цього явища, що суперечить основному призначенню діагностики, тобто недопущення передчасного виникнення несправності.

До показників групи «відпрацьовані гази» належать: вміст хімічних елементів, колір газу, обсяг газів, що прориваються в картер ДВЗ. Отримання параметрів показників цієї групи практично не вимагає виведення техніки з експлуатації, значних витрат часу на отримання і аналіз результатів, але вимагає проведення попередніх досліджень для отримання необхідних залежностей між параметрами інформаторів і знесенням деталей для кожного ДВЗ. Визначати всю гамму хімічних елементів найбільш доцільно спектральним аналізом. Однак, для його проведення необхідне дороге обладнання, висококваліфіковані фахівці, великі витрати праці та точне дотримання технології.

Об'єм газів, що прориваються в картер ДВЗ - найбільш поширений інформатор. Він досить точно характеризує стан деталей ЦПГ на момент діагностики, але залежить від декількох факторів: положення замків кілець, що постійно обертаються в процесі роботи ДВЗ; частина газів виходить в атмосферу через сальники колінчастого валу та інші нещільності, минаючи прилад через те, що він має порівняно високим опором виходу газів з картера. У зношених ДВЗ ця частина може становити до 50% від загальної кількості газів, що прориваються в картер [4]. Недоліками цього способу також є неможливість встановити, що є причиною таких параметрів в даний

момент і вимагає повторних замірів протягом подальшої експлуатації. Крім того, зміна параметра цього показника від моменту введення ДВЗ в експлуатацію і до ремонту відбувається в середньому в 3 рази [8]. Все це не завжди забезпечує високу точність і достовірність кінцевих результатів.

Колір відпрацьованих газів також характеризує ступінь зносу деталей ЦПГ, будучи одним з найбільш застосовуваних методів, що відносяться до цієї групи. В основі цього методу лежить твердження, що якщо гази, що відпрацьовали, мають сизий колір, то це сигналізує про знос деталей ЦПГ. Однак, причинами цього можуть бути несправності в механізмі газорозподілу (особливо при верхньому розташуванні розподільчого валу) та якість палива. Негативною стороною є і те, що лише при сильному зносі деталі ЦПГ, колір відпрацьованих газів помітно змінюється.

В організації оперативного діагностичного контролю ДВЗ, оцінки рівня технічної експлуатації, стану моторного оливи та інших параметрів, важливе місце належить методам та засобам групи «олива ДВЗ». Інформаторами цієї групи є: чад оливи, температура спалаху, лужність, в'язкість, вміст води, вміст продуктів окислення, колір, фільтрування, вміст хімічних елементів, електричний опір. Зупинка трактора для відбору проби і збирання необхідної інформації з ДВЗ займає близько 5 хвилин. Інформація, що міститься в працюючій оливи, має велику достовірність по багатьох показниках роботи систем ДВЗ і стану його деталей, дозволяючи тим самим контролювати умови експлуатації. Дослідження та аналіз результатів моторного оливи можна проводити незалежно від місця знаходження об'єкта. Можливі різноманітні варіанти при виборі набору обладнання для отримання аналізів оливи, при цьому не потрібно розбірно-складальних операцій [2, 3].

Одним з основних способів визначення стану ЦПГ прийнято вважати витрату картерної оливи на чад у відсотках витрат палива. Однак, дотепер не розроблено достатньо точного експрес-методу для його застосування. Для найбільш точного визначення чаду оливи потрібно провести кілька

контрольних змін з точними вимірами кількості палива, що доливається, і оливи. При цьому неможливо врахувати витікання оливи через нещільність. Крім того, чад оливи протягом тривалого періоду роботи ДВЗ незначний і лише при сильному зносі деталей ЦПГ починає різко зростати. Така закономірність ускладнює прогнозування залишкового ресурсу [2,8,14].

Довгий час велика увага приділялася методу визначення зносу деталей ДВЗ електричного опору моторного оливи. В даний час застосування цього методу дуже утруднено у зв'язку з появою на ринку великої номенклатури моторних масел, що мають у своїй основі не тільки різні присадки та їх композиції, але і базові оливи (синтетичні, мінеральні, напівсинтетичні) [5] .

Метод визначення зносу деталей за елементами-свідками має високу інформативність і високу точність. В його основі лежить принцип вмонтування в різні деталі ДВЗ хімічних елементів, властивих тільки цій деталі. Далі за вмістом у картерній оливи того чи іншого компонента судять про зношування певної деталі. Цей метод хороший, проте вимагає перебудови промисловості, що випускає комплектуючі, а це обумовлено великими матеріальними і технологічними витратами, що не цілий . До того ж немає необхідності визначення зносу кожної деталі ДВЗ, достатньо знати знос однієї або кількох ресурсо визначальних деталей. Тому надалі цей метод знайде широке застосування при випробуваннях ДВЗ в лабораторних умовах [12].

Параметри фізико-хімічних показників працюючої оливи з достатньою точністю характеризують умови роботи ДВЗ, але не набули широкого поширення для оцінки технічного стану його деталей . -лені залежності між зміною фізико-хімічних показників та зносом деталей [7].

Зміст хімічних елементів в оливи, що працювала, передбачає наявність в ньому продуктів зносу деталей ДВЗ, забруднень, що надійшли із зовнішнього середовища (з'єднань кремнію), і присадок. Визначення цих

елементів проводиться спектральним аналізом, що забезпечує високу точність і оперативність за мінімальних витрат часу. У аспекті нашої роботи цей напрямок є пріоритетним, т.к. будь-які порушення в роботі ДВЗ призводять до підвищеного зносу і, отже, накопичення його продуктів в оливі.

Найбільш повне уявлення про стан ДВЗ можна отримати при розгляді його як триботехнічної системи, що включає тертя, знос і мастило, що дозволяє підвищити ресурс ДВЗ. При цьому підході моторне масло розглядається як елемент структурно-імовірнісної системи і є важливим джерелом інформації про процеси, що протікають в ДВЗ. Однією позитивною стороною цього є висока чутливість, т.к. будь-яка, навіть незначна несправність того чи іншого вузла, призводить до підвищеного зносу і, як наслідок, надходження продуктів зношування в оливу. Інший - відсутність необхідності у зупинках і розбірках. В даний час хімічний аналіз оливи і відкладень з маслофільтра проводять на стаціонарних установках, однак, можлива установка системи датчиків безпосередньо на двигун, що дозволить здійснювати постійний контроль.

Оцінюючи інформатори загалом, можна дійти невтішного висновку, більшість з них відповідають сучасним вимогам і може бути, застосовані до створення оперативного методу діагностування призначеного для забезпечення реалізації ресурсу, т.к. вони або констатують факт зносу, або є непрямыми. Як зазначалося раніше, на сьогоднішній день необхідні: постійний контроль умов експлуатації, можливість прогнозування залишкового ресурсу ДВЗ, причому бажано в залежності від того, як він буде далі експлуатуватися. Засоби діагностування повинні бути мобільні, прості в користуванні, мати низьку собівартість і високу точність. Вирішення цієї проблеми при сучасному рівні розвитку науки і техніки можливе. На наш погляд відпрацьовані гази і моторне масло концентрують у собі велику кількість даних про роботу ДВЗ і стан його деталей, тобто. мають високу інформативність, найбільш зручні, т.к. не вимагають будь-яких розбирально-

складальних операцій і, в цілому, відповідають сучасним вимогам.

Особливого значення в діагностуванні має відносна похибка визначення контрольованого параметра. Вона залежить як від відносної похибки приладу, і від швидкості зміни параметра інформатора. Зміна параметрів інформаторів залежно від напрацювання ДВЗ показано рис. 1.2. По осі ординат відкладено зміну параметра інформатора протягом напрацювання ДВЗ, по осі абсцис - напрацювання ДВЗ. Номінальне значення показників у відсотках прийнято за 0. Наприклад, рf період 5000 мото-год потужність ДВЗ змінюється на 8%, а чад оливи на 294%. Масова частка продуктів зношування в мастильній системі зросла в 3 рази за 500 мото-год, тобто. в 10 разів більше ніж чад оливи.

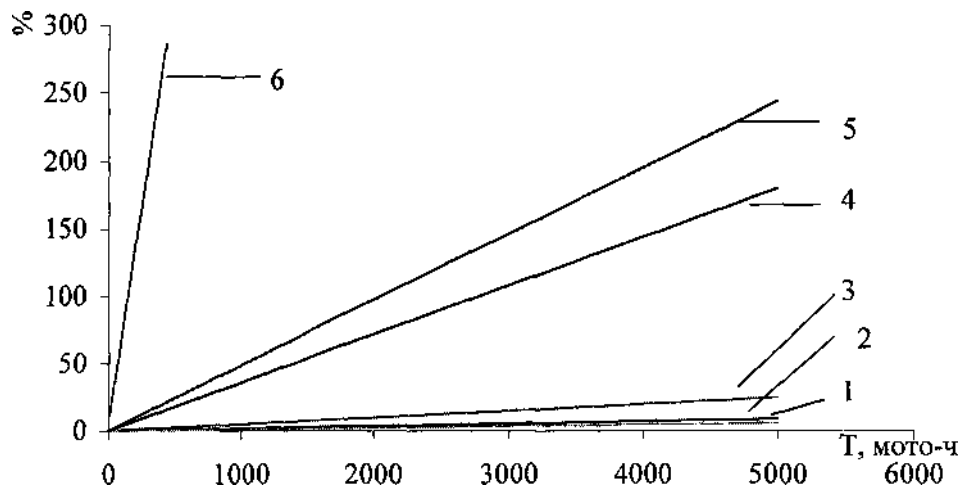


Рисунок 1.2 - Зміна показників інформаторів залежно від від напрацювання: 1 - мінімальна стійка частота обертання; 2 - потужність ДВЗ; 3 - тиск оливи; 4 - прорив газів; 5 - вигорання оливи; 6 - продукти зношування в мастильній системі.

Аналізуючи зміну інформаторів від напрацювання (рисунок 1.2), видно, що найбільш змінюваний параметр - це продукти зносу в мастильній системі. Крім того, метод оцінки умов експлуатації, технічного стану та залишкового ресурсу за хімотологічними показниками моторного оливи є простим у застосуванні і не вимагає спеціальної зупинки машин. У цьому досягається порівняльна швидкість оцінки. Звідси можна зробити висновок, що поряд з описаними вище перевагами, даний показник найбільш ефективний, і його

доцільно використовувати для зазначеної мети .

1.3. Контроль умови експлуатації ДВЗ та їх діагностика за хімічними показниками моторного оливи.

Робота ДВЗ в основному обумовлена тертям двох тіл, однак, це твердження несправедливо, оскільки існує ще й третє – моторне масло [6]. Воно виконує змащувальну і охолодну функції практично для всіх деталей ДВЗ і, отже, омиває поверхні тертя, накопичуючись потім у картері ДВЗ. Обмиваючи поверхні тертя, моторне масло забирає з собою і продукти зношування, що утворилися в результаті взаємодії цих трьох тіл. Отже, процеси, що відбуваються в ДВЗ, значною мірою впливають на хімічний стан моторної оливи. При досягненні гранично допустимих зазорів у сполученні і умови для рідинного тертя порушуються. Коефіцієнт тертя при напіврідкому терті в 5-10 разів більше, ніж при рідинному. При цьому швидкість потрапляння продуктів зносу в моторну оливу різко зростає [12, 13].

Не можна не відзначити і вплив моторної оливи на процес зношування деталей ДВЗ. Внаслідок виникаючих у процесі роботи ДВЗ хімічних реакцій, впливу різних фізичних факторів на моторне масло, відбувається зміна його властивостей, змінюється в'язкість, спрацьовуються присадки, з'являються продукти окислення та механічні частинки. Ці фактори впливають на швидкість зношування поверхонь тертя деталей [7, 10].

Зміна хімічних показників моторної оливи безпосередньо взаємопов'язана та взаємообумовлена умовами експлуатації та режимами роботи ДВЗ, що дозволяє контролювати (діагностувати) роботу його механізмів та швидкість їх зношування. Наприклад:

- виникаючі порушення в очищенні повітря викликають негайне потрапляння в моторне масло абразиву - кремнію, це тягне за собою різке зростання в ньому концентрації продуктів зношування, що характеризують процес зношування тертьових деталей;

- по лужності оливи можна встановити наявність у працюючій оливи

введеної активної присадки;

- інтенсивне накопичення в оливі механічних домішок свідчить про порушення якісної роботи масло фільтруючих елементів;
- зменшення в'язкості оливи пов'язане з потраплянням до нього палива.

Отже, при контролі хімічних показників моторної оливи можна попередити експлуатацію агрегату в несприятливих умовах його роботи і, отже, запобігти виникненню технічних несправностей і, пов'язаних з цим, витрати на ремонт.

Проте контроль всіх хімічних показників моторної оливи - завдання досить складне і виникає питання в необхідності такого підходу взагалі. Доцільно вибрати один з інформаторів групи «моторна олива», що найбільше відповідає цілі контролю умов експлуатації.

Як зазначалося вище, стан моторної оливи і деталей ДВЗ, а також умови їх роботи, значною мірою впливають на швидкість зношування [5]. Отже, змінюється і швидкість надходження продуктів зношування в мастильну систему. Наприклад, підвищення концентрації продуктів зношування в оливі ДВЗ ЯМЗ 236 відбувається за 5... 10 тис. км до настання аварійного стану з'єднань ДВЗ [3].

Для кількісного визначення елементів зносу в працюючій оливі та відкладеннях маслоочисника існує ряд методів: спектрального аналізу, колориметричні, індукційні, радіоактивні, вставок, за електричним опором та ін. Для досягнення оперативності в оцінці процесу зношування розроблений прилад, заснований на принципах зміни показників індуктивності [12].

У зв'язку з низкою причин, таких як: зручність застосування, виключення необхідності зміни конструкції ДВЗ, можливість широкого застосування, найбільшого поширення набув і спектральний аналіз, індукційний

та електричний опір. Ще в 60-ті роки спектральний аналіз моторного оливи знайшов широке застосування, як у нашій країні, так і за кордоном [14]. На кафедрі "Технічна експлуатація автомобілів" Київського автодорожнього інституту було розроблено прилад для проведення аналізів проб картерної оливи на вміст у них феромагнітних продуктів зносу [8, 19].

Така ситуація дозволяє визначати широкий спектр продуктів зношування, що надходять у мастильну систему, проте це пов'язано з ускладненням технологічного обладнання та необхідністю наявності висококваліфікованого діагносту та рядом інших проблем. Виникає питання якщо в цьому необхідність, чи достатньо одного показника. Спічкін Г.В., порівнюючи параметри оцінки технічного стану ДВЗ, характеризував параметр концентрації заліза в оливі, що має відносну зміну до 1800%, як найкращий показник стану ДВЗ [12]. Пов'язано це з безліччю факторів, що впливають на збільшення швидкості зношування деталей ДВЗ, тобто, на швидкість надходження заліза до оливи (рис. 1.3). Аномальне підвищення концентрації заліза в картерній оливи починається за 6-8 тис. км пробігу до появи вогнищ повного руйнування деталей і сигналізує про необхідність проведення робіт з усунення несправностей. У зв'язку з цим періодичність відбору проб оливи для аналізу повинна становити 1,5-2 тис. км. [5].

До теперішнього часу багатьма вченими велися дослідження в галузі застосування показника «масова частка заліза в оливі» [9, 5, 10] для діагностики, визначення умов експлуатації та залишкового ресурсу ДВЗ.

Однак, з ряду причин вони не набули широкого застосування:

- кожен розроблений спосіб застосовувався тільки для однієї конкретної марки ДВЗ;
- не представлено переконливих теоретичних та експериментальних досліджень, що показують, що запропонований параметр показника є оптимальним та забезпечує ресурс ДВЗ;

- відсутність засобів збору та обробки інформації, що визначило складність застосування.

У розробленому співробітниками Кишинівського СХІ способі оцінки умов експлуатації, технічного стану і залишкового ресурсу тракторних ДВЗ застосовується параметрична модель (номограма) залежностей між зносом дзеркала ГЦ (ЗГЦ) в поясі найбільших зносів, масою заліза, зніманням. [7,9,10].

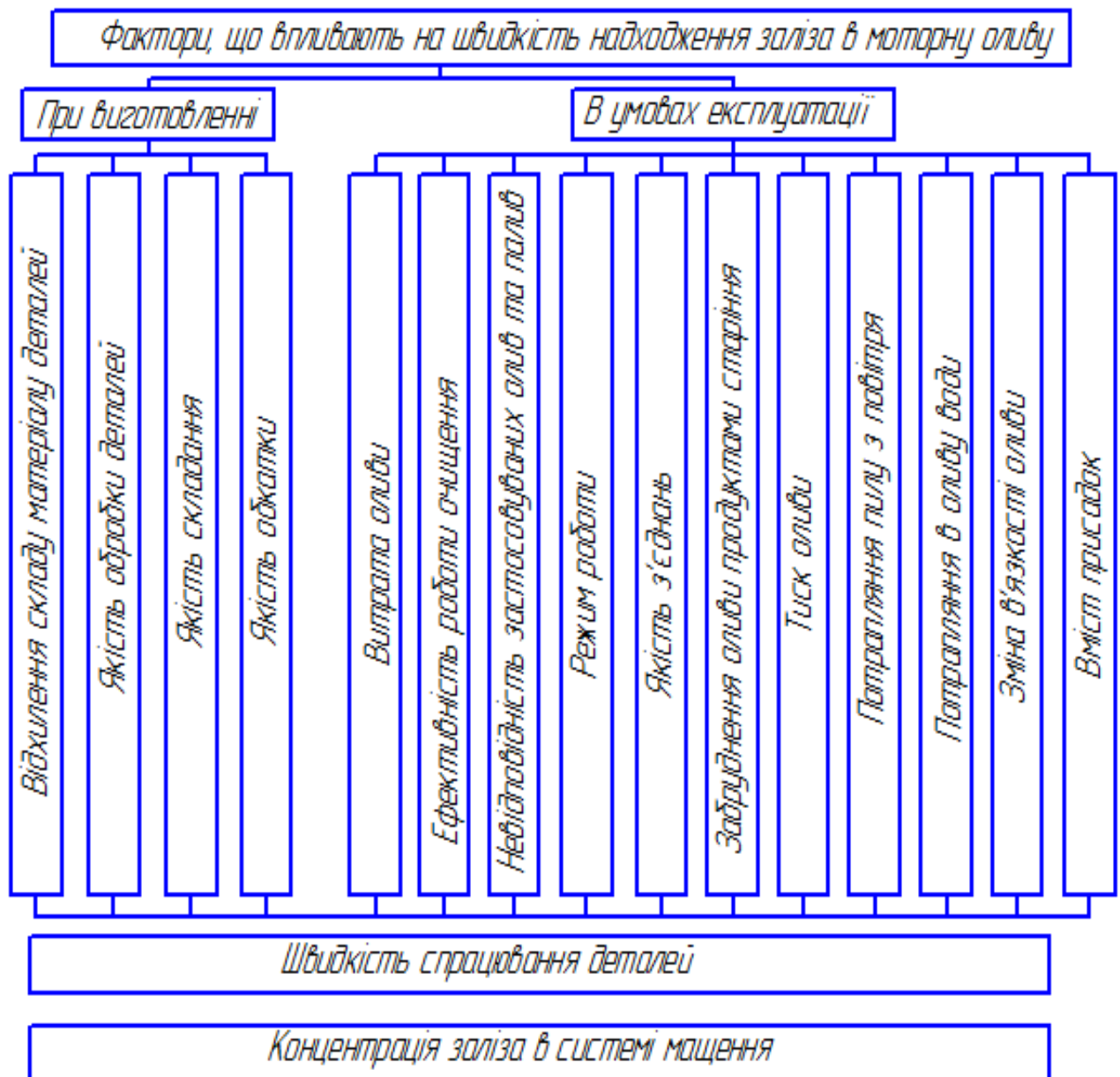


Рисунок 1.3 – Перелік факторів, котрі здійснюють вплив на процес надходження заліза в мастильну систему ДВЗ

Для того, щоб дати висновок про технічний стан ДВЗ, необхідно: замінити оливу; напрацювати 60 мото-год; зробити відбір проби оливи з картера та відкладень з роторної масляної центрифуги (РМЦ); зробити їх аналіз щодо масової частки заліза у яких; володіти інформацією про загальне напрацювання ДВЗ та оливи; інформацією про кількість долитої оливи.

Використовуючи встановлену закономірність зміни якісного стану моторного оливи в ДВЗ за нормальних умов експлуатації та порівнюючи стан оливи в ДВЗ контрольованої машини, можна ствердно судити про умови роботи конкретного ДВЗ. У певних випадках при відхиленні відповідних показників моторного оливи від гранично допустимих його значень, можливим попередити експлуатацію даної машини в несприятливих режимах і потім встановити причину виникнення цього відхилення, тим самим продовжити працездатність машини.

Крім вищезгаданих причин, що перешкоджають застосуванню, від'ємними сторонами цього способу є:

- визначення залишкового ресурсу ДВЗ без урахування ретроспективи та умов експлуатації у майбутньому;
- несумісність із сучасними засобами обробки інформації;
- відсутність еталонного параметра для визначення умов експлуатації, внаслідок чого відбувається спотворення реальної картини;
- фіксованість часу діагностики (60 мото-год);
- необхідність відбору проб із РМЦ та їх суворий облік;
- облік оливи, що доливається.

Підсумовуючи все вищесказане, можна сказати, що застосування інформатора «масова частка заліза в оливі» призведе до найповнішого використання ресурсу ДВЗ, закладеного заводом-виробником, створює

можливість здійснення контролю за умовами експлуатації, що призведе до підвищення надійності, скорочення потреби в запасних частинах, зменшення витрат на ТО. Однак, необхідна розробка способу діагностування, що повністю задовольняє запити споживача і дозволяє з більшою точністю визначити його реальний стан і перспективу подальшої експлуатації.

#### 1.4. Мета та завдання досліджень

Основною метою дослідження є створення методу діагностування, що дозволяє довести до мінімуму різницю між параметрами потенційного та фактичного ресурсу. Досягти цього можна шляхом забезпечення оптимальних умов експлуатації, які передбачені технічними вимогами заводів-виробників та проведення своєчасних ТО та ремонтів.

Як уже зазначалося раніше, найбільш прийнятним індикатором, що реагує на процеси, що відбуваються в ДВЗ, є вміст заліза в оливі. Для вироблення рекомендацій щодо його застосування необхідно розв'язати такі завдання:

- провести експериментальні дослідження для визначення швидкості надходження заліза в мастильну систему ДВЗ на підставі аналізу: динаміки та характеру зношування деталей; зміни хімічних показників оливи і відкладень з РМЦ, розподілу продуктів зношування по елементах мастильної системи з подальшою розробкою математичної моделі цього процесу;
- встановити залежності швидкостей надходження заліза в мастильну систему від напрацювання ДВЗ;
- на підставі проведених досліджень, розробити технологію діагностування ДВЗ.

## РОЗДІЛ 2

### АНАЛІЗ ОБ'ЄКТА ДОСЛІДЖЕНЬ

#### 2.1. Вибір та обґрунтування об'єктів дослідження

Під час вибору марок ДВЗ для проведення досліджень користувалися двома критеріями відбору. Перший – типи дизельних ДВЗ, що знаходяться в експлуатації на підприємстві де проходила переддипломна практика – КАТП «Агробудавтосервіс». Другий – застосування даного типу ДВЗ в регіоні на основі статистичних даних та аналізу даних ремонтних та експлуатаційних підприємств регіону. З них видно, що найбільшого поширення набули такі марки дизельних ДВЗ: КамАЗ - 740, ЯМЗ - 238, ЯМЗ - 236, Д - 240, Д -144. Широкого поширення набувають двигуни сімейства Д-240 і Д-144 на автомобільному транспорті, особливо при реконструкції автомобілів ГАЗ і ЗІЛ. Разом з тим, повний обсяг випробувань для всіх марок провести неможливо, і зважаючи на те що, що двигуни сімейства КамАЗ та ЯМЗ, є V-подібними і за своїми конструктивними параметрами істотно відрізняється від рядних, обмежимося дослідженнями ДВЗ Д-240 (таб. 2.1.).

Таблиця 2.1. Основні параметри ЦПГ двигуна Д-240

|                                                                                          |      |
|------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Відстань від днища поршня до верхньої кромки канавки 1-го компресійного кільця (а), мм   | 25   |
| Висота канавок для компресійних кілець, мм                                               | 3,5  |
| Кількість компресійних кілець, шт                                                        | 3    |
| Висота перемички між каналами 1-го і 2-го компресійних кілець, мм                        | 5    |
| Висота перемички між каналами 3-го компресійного і 1-го маслознімного кілець, мм         | 5    |
| Висота перемички між каналами 3-го компресійного і 1-го маслознімного кілець, мм         | 4    |
| Висота канавок маслознімних кілець, мм                                                   | 6,2  |
| Кількість маслознімних кілець, шт                                                        | 2    |
| Діаметр поршневого пальця, мм                                                            | 37   |
| Відстань від головки поршня до осі отвору під палець, мм                                 | 82,3 |
| Відстань від нижньої кромки нижнього маслознімного кільця до нижньої кромки спідниці, мм | 15   |
| Висота поршня, мм                                                                        | 121  |
| Діаметр поршня, мм                                                                       | 110  |

Крім того двигуни цього типу як на автомобілях, так і на стендах, оснащені лічильником мото-годин, що спрощує процедуру контролю.

## 2.2. Магнітометр FerroCheck 2100 для контролю рівня заліза в поточній оливі ДВЗ

В даній роботі для контролю рівня заліза в поточній оливі ДВЗ застосовувався прилад магнітометр FerroCheck 2100. Прилад дозволяє швидко і просто вимірювати загальний вміст металевого зносу в оливах і мастилах для технічного обслуговування машин і двигунів в агресивних та польових умовах експлуатації обладнання.

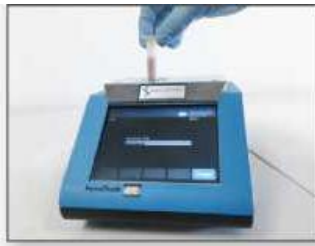
FerroCheck 2100 відповідає вимогам ASTM method D8120-17 "Стандартний метод випробувань для кількісного визначення уламків чорних металів" "Використання в польових або лабораторних умовах". Магнітометр FerroCheck 2100 має низьку межу виявлення, високою повторюваністю до  $\pm 3\%$ , широкий діапазон вимірювань, стандарт для перевірки включений в комплект постачання.



а



б



в



г

Рисунок 2.1. - Магнітометр FerroCheck 2100: а) загальний вигляд, б) процес відбору зразків, в) інформаційний дисплей приладу.

При відборі зразків не застосовуються розчинники відсутня проба підготовки зразка. При цьому для аналізу зразка потрібно менше 2мл досліджуваної рідини. Результат видається за 30 секунд. Працює на акумуляторних батареях. Прилад компактний і легкий, поміщається в ящик для інструментів або в сумку для перенесення. Розміри (ШхГхВ) 17 см x 20 см x 13,5 см (6,6 дюйма x 7,8 дюйма x 5,2 дюйма) та вага 2,9 кг. Здатний працювати більше 4 годин без заряджання, маючи автономне джерело живлення. Оснащений кольоровим сенсорним дисплеєм на 6" із фіксованим кутом нахилу.

Забезпечує автоматизоване зберігання отриманих результатів аналізу, експорт даних та файлів у форматі CSV або використання програмного забезпечення AMS Oilview та TruVu 360.

Прилад крім можливості визначення загального вмісту ферромагнітних частинок в оливі дозволяє визначати їх вміст у мастилі. Однак магнітометр дає інформацію лише про загальне забруднення масла/мастила такими металами, що намагнічуються, як залізо і нікель.

### 2.3. Методика вимірювання показників зношування деталей ДВЗ

При визначенні показників зношування деталей ДВЗ використовували:

- ваговий метод: зважування поршневих кілець;
- метод мікрометражу - виміри зносу гільз циліндрів і шийок колінчастого валу.

Мікрометрування основних деталей ДВЗ проводили інструментами та приладами з відносною точністю вимірювання, що відповідає ДСТУ 18509-80.

У зв'язку зі складною геометрією поверхні зносу гільз циліндрів замір проводили у чотирьох площинах. Перед проведенням вимірів дзеркало гільз циліндрів промивали бензолом.

Вимірювання діаметра корінних і шатунних шийок колінчастого валу проводили у двох площинах і двох поясах у зв'язку з нерівномірністю зносу. Перед проведенням мікрометражу, шийки колінчастого валу промивали бензолом.

Зношування поршневих кілець визначали методом зважування кожного кільця окремо на аналітичних вагах АДВ-200 М з абсолютною погрешністю 0,0002 г. Перед зважуванням, для видалення залишкового нагару і лакових відкладень, поршневі кільця очищалися в спеціальному розчині наступного складу: на 10 літрів води добавлялося 100 г. господарського мила, рідкого скла ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ), кальцинованої соди і 10 г. хромпіку.

Розчин нагрівали в металевій посудині до 358K і занурювали в нього кільця. При цій температурі кільця витримували на протязі 3-х годин, після чого вуглецеві відкладення, що залишилися, зчищали різакон з червоної міді безпосередньо в розчині. Після цього проводили протирання замшею, змоченою бензином Б -70, до повного видалення нагару, потім висувували в сушильній шафі при температурі 383 К протягом 1 години і, після охолодження в ексікаторі, зважували. Абсолютна втрата в масі кільця (знос) визначали

як різницю в масі кільця до випробувань і після.

Зазор у замку кільця вимірювали щупом у новому циліндрі тієї ж розмірної групи, що й циліндр ДВЗ.

#### 2.4. Методика дослідження технічних показників при стендових випробуваннях ДВЗ

Для отримання інформації про закономірності зношування деталей, процес накопичення та розподілу заліза за елементами мастильної системи та швидкості чаду оливи проводилися стендові випробування ДВЗ. Дослідження вели за вдосконаленою методикою (ОН 13164-66) прискорених [10] та короткострокових випробувань [3] та відповідно до ГОСТу 18509-80.

Усі випробування проводили на дизельному паливі (ГОСТ 305-82) з містом сірки 0,2...0,5%.

Для підтримки заданих режимів роботи ДВЗ був використаний обкаточно-гальмівний стенд КИ-1363В-ГОСНИТИ, спеціально обладнаний для цієї мети і що складається з: ДВЗ-гальма в зборі та рідкого регулювального реостата, пристрої для живлення паливом, пульта контрольних приладів та дозатора пилу, електрошафи та контрольно-вимірювальних приладів, пристрої для прикріплення тракторного ДВЗ і витратоміра повітря. Крім того, було використано пристосування для подачі води до рідкого реостату, що забезпечувало стабільність навантажувального режиму. При цьому пристосування було відрегульовано на подачу певної кількості води.

Перед початком випробувань стенд був підготовлений відповідно до вимог заводської інструкції.

Перед випробуванням двигуни проходили обкатку відповідно до заводських вимог [6]. Під час обкатування температура оливи в ДВЗ підтримувалася в межах 358...363K на всіх навантажувальних режимах. Після закінчення обкатки двигуни розбирали для мікрометражу та маркування деталей. Після кожного збирання ДВЗ проводили регламентні роботи,

передбачені технічними умовами.

Після закінчення кожного циклу проводили часткове розбирання ДВЗ для визначення величини зносу ЗГЦ, поршневих кілець і шатунних шийок колінчастого валу.

Рівномірна та безперервна подача пилу у повітря забезпечувалась дозатором ДП-2 конструкції НАТІ. Подача пилу в засмоктується повітря здійснювалася в кількості 4мг на 1м<sup>3</sup>. Подачу пилу в моторне масло проводили

періодично один раз на годину за допомогою спеціального пристосування, що включається в мастильну систему ДВЗ. Загальна кількість пилу, що подається в оливу, становила 50 % від кількості пилу, що надходить з повітрям у циліндри ДВЗ за період випробування. Як абразив застосовували кварцевий пил з питомою поверхнею 0,56 м<sup>2</sup>/г, призначений для випробування очищувачів повітря за ГОСТом 8002-62. Пил вводився у двигун після встановлення нормального теплового, навантажувального та швидкісного режимів.

Визначення надлишкового тиску виробляли в кожному циліндрі універсальним компресометром КІ-861 за температури ДВЗ 313...323К. Вимірювання проводили тричі при частоті обертання колінчастого валу 5с<sup>-1</sup> прокручуючи двигун за допомогою стенда, а під час експлуатаційних випробувань - пусковим пристроєм.

Визначення величини чаду здійснювали шляхом зважування доливається

оливи перед початком зміни. Зважування проводили на терезах ВНЦ-10 з урахуванням взятої проби оливи для аналізу.

Об'єм газів, що прориваються в картер ДВЗ, як один із показників найбільш доступних при дотриманні достатньої достовірності, визначали при температурі охолоджувальної рідини і оливи 353...363К і номінальній частоті обертання колінчастого валу, попередньо закривши пробкою від

отвір масляної лінійки.

Відбір відкладень з РМЦ починали через 5 хвилин після зупинки ДВЗ, щоб встигло стекти масло з ротора центрифуги. Ротор демонтували і зважували, після цього спеціальним різаком з червоної міді знімали частину відкладень у вигляді смуги шириною 5...10 мм з усієї висоти ротора через 120° по довжині кола ротора. Після відбору проб ротор центрифуги повністю очищали від відкладень. Зважуванню зазнавали всі зняті відкладення та очищений ротор РМЦ.

Зольність оливи визначали за ГОСТ 1461-75 спалюванням навішування в кількості 20-25 г на закритій електроплитці у фарфорових тиглях за допомогою беззольного паперового фільтра та подальшим прожарюванням у муфельній печі.

Зольність відкладень визначали за тим же ГОСТом з незначною зміною методики та застосуванням іншого хімічного посуду. Наважку відкладень складали в низькі тиглі №2 у кількості 0,8...1 г. Операцію спалювання вуглеводневих сполук не виконували. Озолення виробляли протягом 3,5 години в муфельної печі.

Масову частку продуктів зношування та присадки, а також кремнію, визначали спектральним аналізом на приладі ІСП-28 шляхом порівняння еталону зі зразками.

2.5. Методика дослідження технічних показників під час експлуатаційних випробувань ДВЗ

Метою експлуатаційних випробувань було підтвердження висновків, зроблених на підставі та стендових випробувань.

При підборі автомобілів головна увага зверталася на їх технічну справність, що визначається за такими показниками: чад оливи, прорив газів у картер ДВЗ. За зазначеними показниками проводилися спостереження за автомобілем протягом трьох робочих змін. Автомобілем також не повинні

були піддаватися капітальному ремонту і мати підтікання в мастильній системі. Аналіз результатів спостережень був підставою для можливості проведення випробувань.

З метою скорочення часу випробувань автомобілем були підібрані з різним доробком (в рамках ресурсу, закладеного заводом-виробником) і, отже, різним ступенем зношеності деталей.

Перед початком випробувань проводилося чергове технічне обслуговування, під час якого, особлива увага приділялася справності систем повітря та маслоочищення. Заміна оливи проводилася після промивання мастильної системи ДВЗ промивною рідиною, що складається з 50% моторної оливи і 50% дизельного палива протягом 3 хвилин при працюючому ДВЗ на середній частоті обертання холостого ходу. Випробування проводилися на моторному маслі однієї марки.

Після закінчення циклу досліджень проводились:

- часткове розбирання ДВЗ (зняття головки блоку) з метою мікрометражу гільз у поясі найбільших зносів;
- відбір відкладень із ротора реактивної масляної центрифуги і фільтрів

Методика відбору проб з картера ДВЗ та ротора реактивної масляної центрифуги і фільтрів.

Для отримання даних про швидкість надходження заліза в мастильну систему, а також для виявлення співвідношення мас заліза, що надходять до картер ДВЗ та ротор реактивної масляної центрифуги і фільтр, проводилися відбори проб з елементів мастильної системи.

Відбір проб проводився з урахуванням таких умов: об'єм оливи в картері ДВЗ повинен відповідати максимальному значенню; при необхідності доливали оливу до верхнього рівня.

Після чого двигун повинен пропрацювати 15 хв., потім брали проби оливи та проби відкладень з ротора реактивної масляної центрифуги і

фільтрів.

Проби оливи відбирали шприцом через отвір під масляну лінійку до склянок з притертою пробкою ємністю 200 мл на етикетці якої вказували: господарський номер автомобіля, показання мотолічильника, номер проби, дата відбору проби.

Проби відкладень з РМЦ набиралися в герметичні банки ємністю 200 мл з етикеткою, де вказувалася інформація, аналогічна інформації для проб моторної оливи.

Відбір проб зі змащувальної системи та їх аналіз, а також контроль параметрів експлуатаційних показників проводили за методиками, описаними в розділі «Стендові випробування».

2.6. Устаткування, прилади та технологічне обладнання для проведення досліджень

Крім зазначеного в попередніх розділах в роботі також застосовувалось наступне обладнання та прилади: 1. Електроплитка закритого типу ЕПШ-1-0,8/220; 2. Сушильна шафа; 3. Секундомір П14-2М; 4. Ваги аналітичні АДВ-200м; 5. Циліндр вимірювальний з носиком місткістю 1000 мл, ГОСТ 1770-51; 6. Ексикатор ЕВ-250 ГОСТ 6371-52; 7. Штатив ШТ-9; 8. Генератор дуги ДГ-2; 9. Мікрофотометр МФ-4. 10. Ваги торсіонні ВТ-500; 11. Тахометри електричні ГОСТ 13082-71; 12. Лічильники газу ротаційні РС-250Н ГОСТ 8700-72. 13. Дистанційний термометр - для контролю температури картерної оливи ТДК-50; 14. Електронний витратомір палива ДС-1; 15. Манометричний газовитратомір КІ-4887-1; 16. Компресометр універсальний КІ-861; 17. Нутромір 100-160 ГОСТ 9244-75; 18. Тигель фарфоровий високий №4, №2 ГОСТ 628-41; 21. Піч муфельна ТИП СНОЛ - 1.6,2, 0.0,8/9/МІ.

## РОЗДІЛ 3

### ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЗМІНИ ПАРАМЕТРІВ ОБ'ЄКТА

3.1. Аналіз зношування деталей ДВЗ та визначення потенційної швидкості надходження заліза в мастильну систему

3.1.1. Аналіз зношування дзеркала ГЦ

При розгляді вертикальної епюри зносу дзеркала ГЦ, її можна умовно розділити на 7 поясів відповідно до характеру їх геометрії. Виникає питання, до якої геометричної форми найбільш близькі ці пояси, яка їх висота, які показники необхідні для обчислення мас заліза. У зв'язку з тим, що для проведення досліджень нами обрані двигуни Д-240, необхідно проаналізувати параметри циліндропоршневої групи (ЦПГ) і кінематику руху поршня. Поршні мають три канавки для компресійних кілець і дві для маслоснімних. Висота поршня складає 120 мм. Всі компресійні кільця розташовані в голівці поршня, маслоснімні - в головці, а друге - на спідниці поршня (нижче поршневого пальця). Для вивчення зносу були використані гільзи ДВЗ, які надійшли в ремонт з урахуванням наявності найбільшого напрацювання та зносу. Як видно з малюнків та даних, знос дзеркала ГЦ у зонах тертя поршень-гільза циліндра, тобто вище верхнього компресійного кільця і до кромки головки поршня при його положенні в ВМТ, а також від нижньої кромки нижнього маслоснімного кільця до кромки спідниці поршня при його положенні в НМТ незначний і пов'язаний з коробленням, що виникло в результаті впливу різних факторів.

Найбільше зношування дзеркала ГЦ відбувається в зоні розташування компресійних кілець при положенні поршня в ВМТ. При цьому, найбільше зношування створюється верхнім компресійним кільцем. Якщо прийняти значення спрацювання в зоні першого компресійного кільця за 100%, то знос в зоні другого поршневого кільця складає 90%, а третього - 75%. Така закономірність є наслідком дії газів на кільця, що призводить до збільшення сили їх притиснута до дзеркала циліндра. На користь цієї гіпотези говорить і те, що найбільше зношування знаходиться у верхньому поясі, де тиск газів найбільш високий.

При переміщенні поршня від ВМТ до НМТ тиск газів у надпоршневому просторі зменшується і доходить майже до атмосферного, що впливає на процес зношування дзеркала. При порівнянні зносу в поясах зупинки

компресійних кілець у ВМТ і НМТ видно наступну закономірність. Якщо прийняти знос при положенні поршня в ВМТ в поясах заміру кожного компресійного кільця за 100%, то при положенні поршня в НМТ він становитиме в середньому для ДВЗ Д-240 - 25%, так як зношування в цій зоні залежить від сили притискання кілець до поверхні тертя за рахунок їхньої пружності (рис. 3.1;).

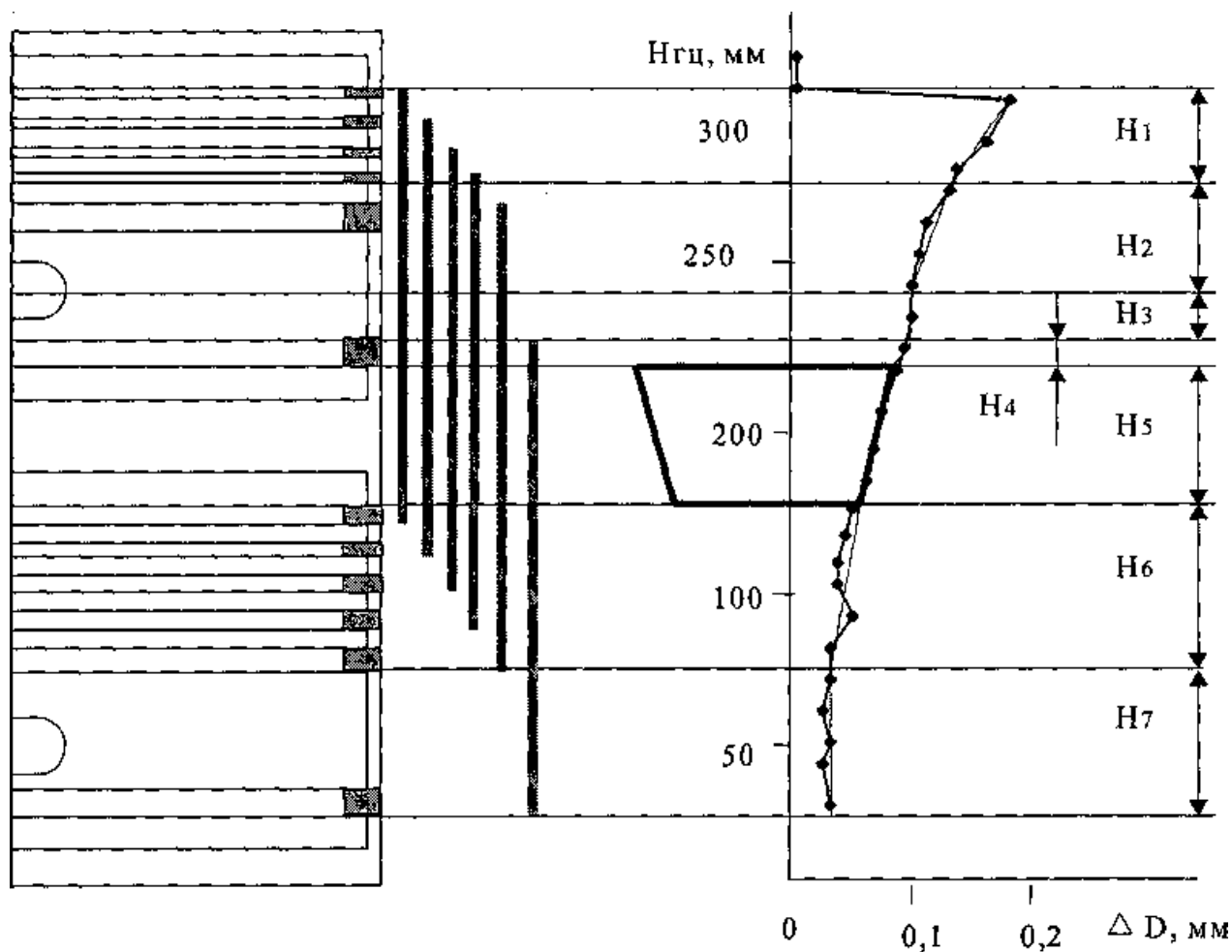


Рисунок 3.1 – Характеристика залежностей спрацювання внутрішньої поверхні ГЦ від параметрів ЦПГ ДВЗ Д-240

Результати розрахунків наведено у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Висота поясів зношування дзеркала ГЦ ДВЗ

| Марка<br>ДВЗ | Пояси зносу      |                |                |                |                |                |                | Висота зносу<br>ГЦ, мм |
|--------------|------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|------------------------|
|              | А                | Б              | У              | Г              | Д              | Е              | Ж              |                        |
|              | Висота пояса, мм |                |                |                |                |                |                |                        |
|              | Н <sub>1</sub>   | Н <sub>2</sub> | Н <sub>3</sub> | Н <sub>4</sub> | Н <sub>5</sub> | Н <sub>6</sub> | Н <sub>7</sub> |                        |
| Д-240        | 20,8             | 32,5           | 17,7           | 6,2            | 44,0           | 30,8           | 57             | 208,8                  |

Розглянемо епюри зношування дзеркала ГЦ ДВЗ Д-240 (рис. 3.2).

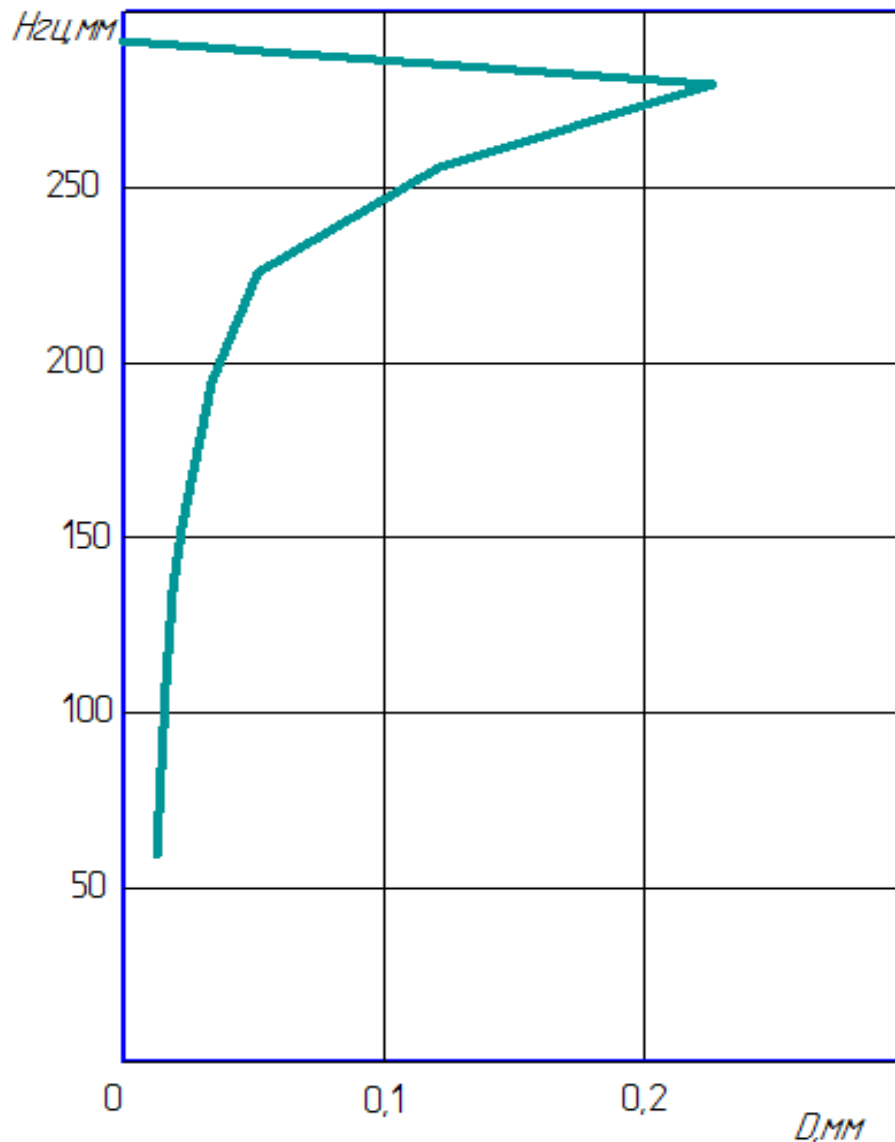


Рисунок 3.2 - Вертикальні епюри зносу дзеркала ГЦ ДВЗ Д-240

Як видно з малюнка, максимальне зношування дзеркала ГЦ в знаходиться у верхньому поясі (зоні зупинки першого компресійного кільця в ВМТ), мінімальний - при положенні поршня в НМТ, причому ця різниця становить 300...400 %.

Проте розгляд лише вертикальної епюри зносу недостатньо, так як гільза у горизонтальній площині зношується також нерівномірно. За результатами досліджень побудований рис. 3.2. Аналізуючи епюри зношування дзеркала ГЦ в зоні вищевказаних поясів (рисунок 3.3) видно, що вони мають характер, близький до еліпса. Найбільша різниця по осях еліпса посідає перший пояс і

становить 0,04 мм, найменша - 0,01 мм у третьому поясі. Для найбільшої наочності можна уявити ці величини у відносних одиницях, тобто. відсотках до загального зносу. Еліпсність у першому поясі становить 10%, а у другому і третьому близько 20%. Така форма зносу обумовлена дією сил, що виникають у площині осі гойдання шатуна АА. У зв'язку з тим, що це зношування має форму еліпса, але за своїми значеннями він невеликий, для обчислень приймемо середній параметри зношування, визначений у двох площинах АА та СС, тобто. по осях більшого та меншого зносу.

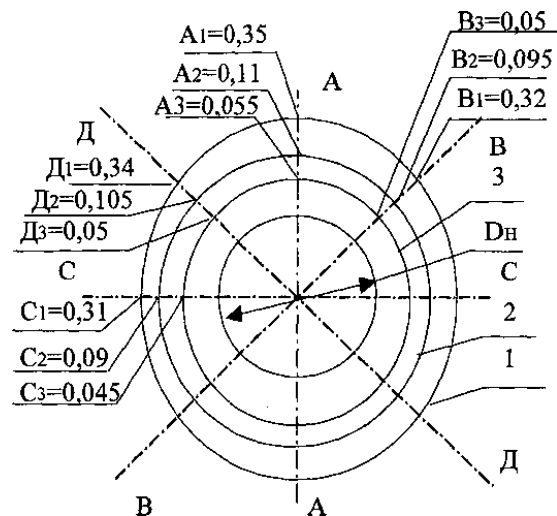


Рисунок 3.3 - Горизонтальні епюри зносу дзеркала ГЦ ДВЗ Д-240: 1,2 - епюри зносу в поясах зупинки першого компресійного кільця при положенні поршня у ВМТ та НМТ; 3 - епюра зносу в поясі зупинки нижнього оливного кільця при положенні поршня в НМТ.

Тоді, маса заліза, знята з поверхні тренування ЗГЦ з урахуванням розбивки на пояси, може бути визначена за формулою

$$M_p = M_1 + M_2 + M_3 + M_4 + M_5 + M_6 + M_7, \quad (3.1)$$

де  $M_1$ - $M_7$  - маси заліза, зняті за усіченими конусами, р.

Обчислити  $M_i$ , масу заліза, зняту в  $i$ -тому поясі (заштрихована поверхня), можна через різницю між масою заліза в усіченому конусі, про який ми говорили вище як про геометрію зносу в поясі і масою заліза в циліндрі, діаметр якого є номінальним розміром ГЦ рис. 3.4.

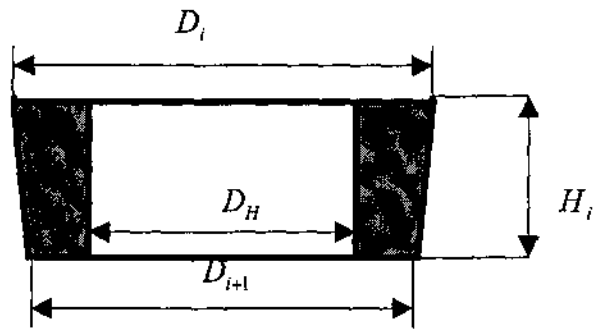


Рисунок 3.4 - Геометрія зношування одного пояса

Цю величину можна обчислити за формулою:

$$M_i = M_k - M_d = V_i \cdot \rho \cdot K_{cr} - V_{Di} \cdot \rho \cdot K_{cr}, \quad (3.2)$$

де  $M_k$  - маса заліза в усіченому конусі, г;

$M_d$  - маса заліза в циліндрі при номінальному діаметрі, г;

$V_i$  - об'єм усіченого конуса відповідних поясів, мм<sup>3</sup>;

$V_{Di}$  - об'єм циліндра по висоті відповідного пояса, мм<sup>3</sup>;

$\rho$  - щільність матеріалу ГЦ, мм<sup>3</sup>;

$K_{cr}$  - масова частка заліза у матеріалі ГЦ, %.

Висоту кожного зрізаного конуса позначимо символом “ $H_i$ ”, що відповідає ширині пояса. Загальну сумарну довжину зношеної поверхні дзеркала ГЦ позначимо символом «Н». Діаметри усічених конусів позначимо символом “ $D_i$ ” і “ $D_{i+1}$ ”. Обсяг усіченого конуса визначаємо за формулою

$$V_i = 0,785 \left( \frac{D_i + D_{i+1}}{2} \right)^2 H_i, \quad (3.3)$$

де  $D_i$  - діаметр основи зрізаного конуса, мм;

$D_{i+1}$  - діаметр вершини зрізаного конуса, мм;

$H_i$  - висота відповідного пояса, мм.

Враховуючи формулу для визначення обсягу конусів, отримаємо наступні вирази для визначення маси заліза, що знаходиться в ньому

$$M_{ki} = 0,785 \left( \frac{D_i + D_{i+1}}{2} \right)^2 \cdot H_i \cdot \rho \cdot K_{cr}. \quad (5.4)$$

Об'єм циліндричної частини конуса визначаємо за формулою

$$V_{Di} = 0,785 D_H^2 \cdot H_i, \quad (3.5)$$

де  $D_H$  - номінальний діаметр ГЦ, мм,

а маса заліза в циліндричному обсязі дорівнює

$$M_D = D_H^2 0,785 \cdot H_i \cdot \rho. \quad (3.6)$$

Підставляючи вираз 3.4 та 3.6 у формулу 3.2, отримаємо результат, знаючи всі необхідні компоненти.

Побудовано епюри спрацювання при різному ступені спрацювання (рис.3.5). Епюра А характеризує профіль зношування при напрацюванні 566 мото-год. За своїм рельєфом вона має найменші відхилення від початкової циліндричної форми.

Епюра В характеризує профіль зносу при напрацюванні 2565 мото-год. У даної епюри відхилення від циліндричної форми більш помітні, так само як і більше значення зносу. Підтвердженням цьому може бути факт збільшення зносу в першому поясі, який зносився більше в порівнянні з 7 поясом.

Епюра С характеризує профіль зносу при напрацюванні 7646 мото-год. Відхилення від циліндричної форми для цієї епюри ще найбільш очевидні. Змінюється і характер розподілу зносу по поясах. У першому поясі процес зношування проходить інтенсивніше, в останньому - повільніше.

Найбільша зміна зношування відбувається у перших трьох поясах. Так, при малому зносі (0,034 мм), різниця між першим і третім поясом становить 23,5%, а при - 0,445 мм - 63,6%. В інших поясах, цей показник змінюються значно менше і становлять 8,5-19%.

Епюра зношування ДВЗ Д-240 побудована при зношуванні в першому поясі 0,055 мм; 0,215 мм та 0,44 мм.

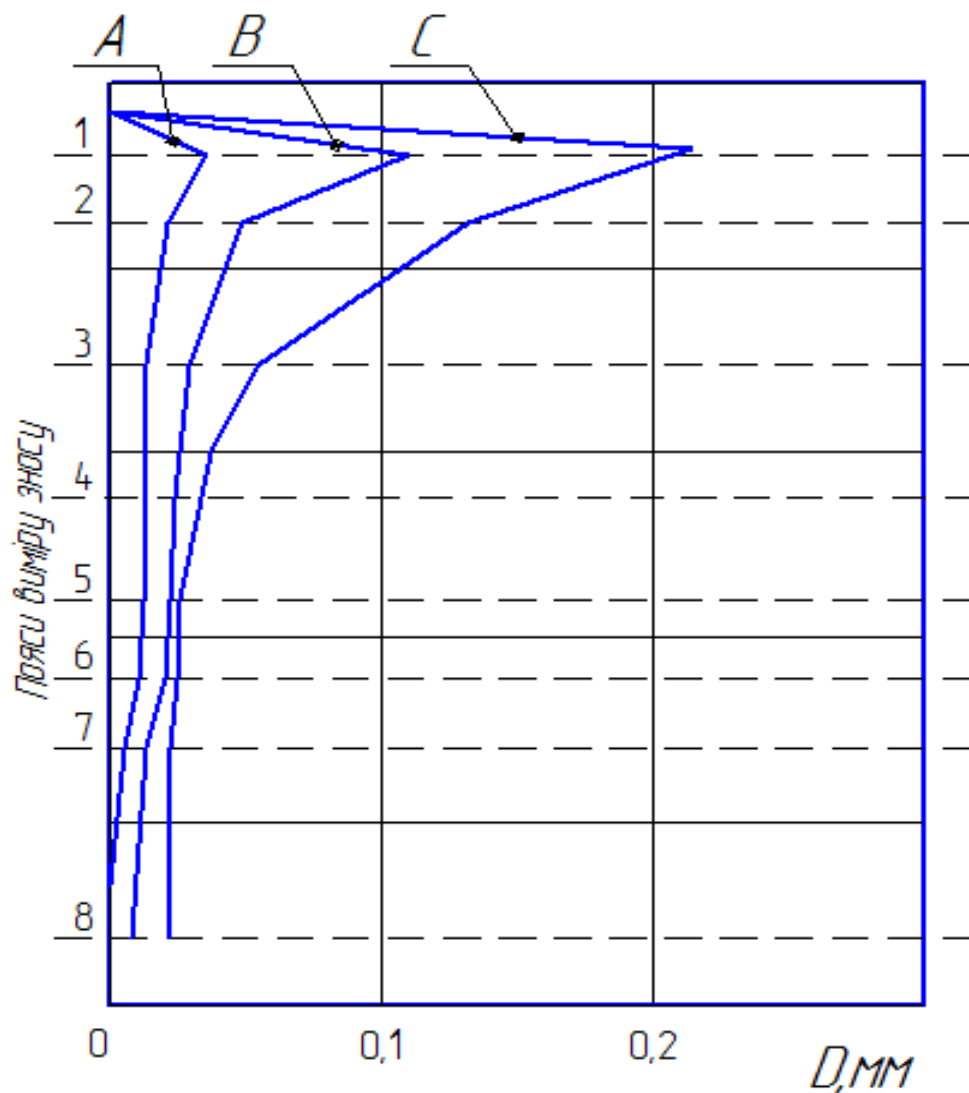


Рисунок 3.5 - Епюри зношування дзеркала ГЦ ДВЗ Д-240: 1,2-8 - пояси виміру зносу дзеркала ГЦ; А - епюра при зносі у першому поясі виміру 0,055 мм; В- епюра при зносі в першому поясі виміру 0,215 мм; С - епюра при зношуванні в першому поясі виміру 0,44 мм.

Розглянемо знос по поясах на гістограмі.

Стовпчикова діаграма зносу дзеркала ГЦ ДВЗ Д-240 (рисунок 3.6.) більш наочно показує, що при зносі в першому поясі, що становить 0,055 мм і прийнятому за 100%, в третьому - становить 50,9%. При зносі 0,215 і 0,44 (відповідно стовпчикова діаграма В і С) в третьому поясі знос становить 27,5% і 25%. Отже, зміна зносу по поясах найбільшою мірою відбувається в зоні зупинки першого компресійного кільця при положенні поршня у ВМТ.

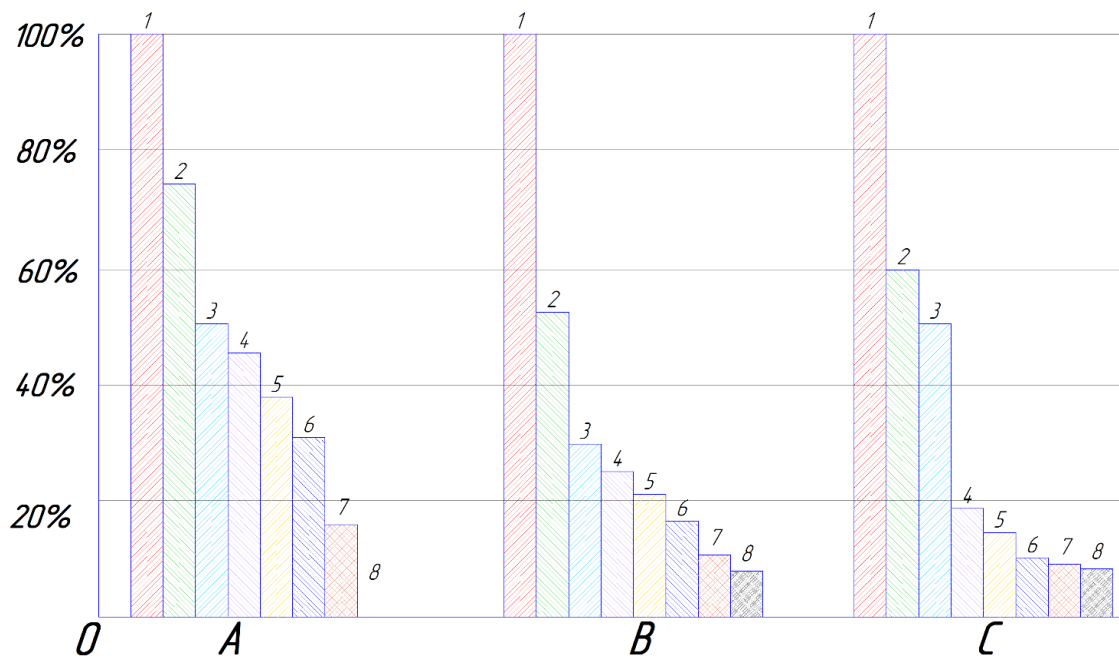


Рисунок 3.6 - Відносне зношування дзеркала ГЦ ДВЗ Д-240 по поясах: А - знос у першому поясі виміру 0,055 мм; В - знос у першому поясі виміру 0,215 мм; 3 - знос у першому поясі виміру 0,44 мм; 1 - 8 - пояси виміру зносу дзеркала ГЦ.

Аналізуючи епюри зносу дзеркала гільз циліндрів ДВЗ Д-240, видно, що їх характер залежить від напрацювання. На підставі гістограм можна зробити висновок, що співвідношення зносів по поясах змінюється залежно від напрацювання ДВЗ.

Таблиця 3.2 –Середнє спрацювання ГЦ двигуна Д-240

| Напрацювання<br>МОТО-ГОД | Пояса вимірів та їх положення від верхнього торця циліндрів |       |       |       |       |       |       |       |
|--------------------------|-------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                          | 20                                                          | 40    | 80    | 110   | 145   | 162   | 180   | 230   |
|                          | 1                                                           | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     |
| Знос, мм                 |                                                             |       |       |       |       |       |       |       |
| 917                      | 0,055                                                       | 0,041 | 0,028 | 0,025 | 0,021 | 0,018 | 0,011 | 0,000 |
| 2250                     | 0,135                                                       | 0,098 | 0,049 | 0,042 | 0,036 | 0,032 | 0,014 | 0,010 |
| 3583                     | 0,215                                                       | 0,11  | 0,059 | 0,05  | 0,04  | 0,037 | 0,020 | 0,014 |
| 5333                     | 0,32                                                        | 0,16  | 0,073 | 0,06  | 0,045 | 0,04  | 0,032 | 0,029 |
| 7333                     | 0,44                                                        | 0,27  | 0,11  | 0,08  | 0,051 | 0,045 | 0,04  | 0,036 |

Параметр маси заліза, що знімається з дзеркала гільз циліндрів, значною мірою впливає на загальну масу заліза, що знімається з деталей ДВЗ. Отже

необхідно визначити швидкість надходження заліза до змащувальної системи із ГЦ.

На підставі наведених вище методик та встановлених залежностей, використовуючи результати проведених нами випробувань ДВЗ та очищень, розглянемо потенційну швидкість зношування ГЦ. Крім того, швидкість зношування дзеркала ГЦ досліджуємо не в мірах довжини, як це прийнято, а в мірах маси. Такий підхід створює можливість визначення необхідних нам загальних закономірностей. Результати досліджень зношування дзеркала ГЦ ДВЗ Д-240, оброблені з урахуванням залежності 3.12, наведено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 - Результати досліджень спрацювання внутрішньої поверхні ГЦ ДВЗ Д-240

|                                                      |      |       |       |       |       |
|------------------------------------------------------|------|-------|-------|-------|-------|
| Напрацювання ДВЗ до розбирання , мото-год            | 917  | 2250  | 3563  | 5333  | 5500  |
| Маса заліза $M_{\text{ГЦЗ}}$ , що знімається з ГЦ, г | 5,47 | 11,63 | 17,02 | 22,45 | 23,63 |

Графічно процес зношування дзеркала ГЦ ДВЗ Д-240 показаний на рис. 3.7.

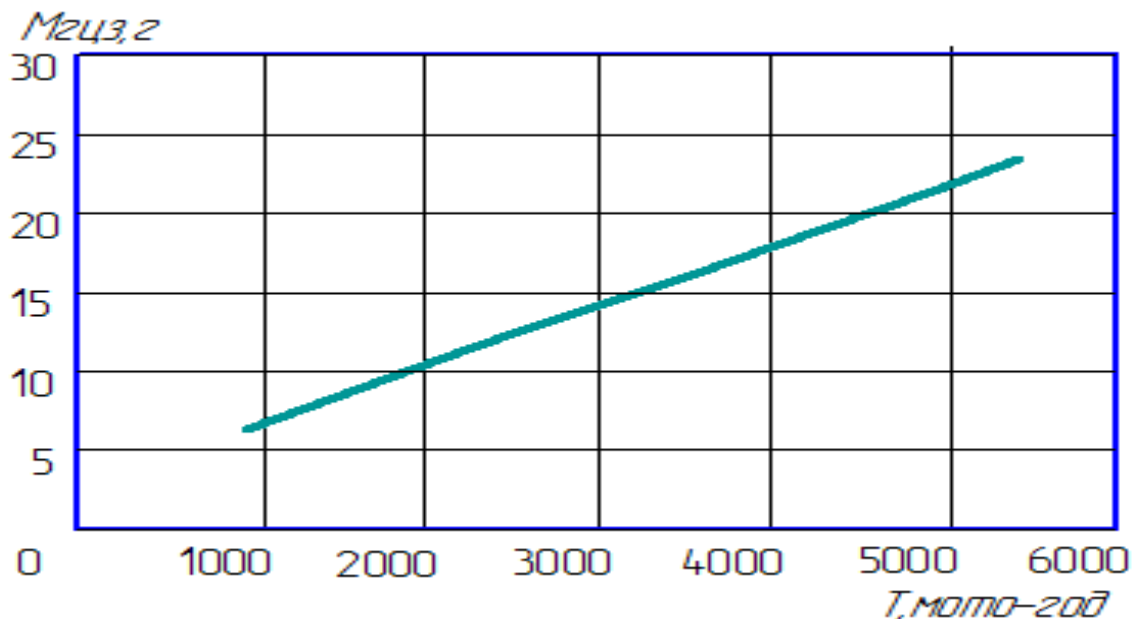


Рисунок 3.7 - Маса заліза, що знімається з дзеркала ГЦ ДВЗ Д-240, залежно від напрацювання

Швидкість зношування ГЦ в інтервалі ресурсу має постійне значення. Для ДВЗ Д-240 складе 0,0152 г/мото-год.

### 3.3.2. Аналіз зношування шийок колінчастого валу

У процесі експлуатації ДВЗ шийки колінчастого валу, як і дзеркало ГЦ, зношуються по ширині і діаметру нерівномірно. Дослідження, проведені з цього питання, показали, що при великому напрацюванні відхилення від циліндричної форми зношування шийок колінчастого у досліджуваних марок ДВЗ, у різних площинах і поясах в середньому становили 0,005 мм.

Таблиця 3.3- Знос шатунних шийок двигуна Д-240, мм

| Номера шатунних шийок | Площина виміру | Напрацювання мото-год |      |       |      |       |      |       |      |       |      |
|-----------------------|----------------|-----------------------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|
|                       |                | 917                   |      | 2250  |      | 3583  |      | 5333  |      | 7333  |      |
|                       |                | Пояса вимірів         |      |       |      |       |      |       |      |       |      |
|                       |                | 1                     | 2    | 1     | 2    | 1     | 2    | 1     | 2    | 1     | 2    |
| 1                     | A-A            | 0,01.                 | 0,01 | 0,03  | 0,03 | 0,05  | 0,04 | 0,07  | 0,06 | 0,09  | 0,09 |
|                       | B-B            | 0,01                  | 0,02 | 0,02  | 0,03 | 0,04  | 0,04 | 0,06  | 0,06 | 0,09  | 0,09 |
| 2                     | A-A            | 0,01                  | 0,01 | 0,03  | 0,03 | 0,04  | 0,05 | 0,06  | 0,07 | 0,08  | 0,09 |
|                       | B-B            | 0,02                  | 0,01 | 0,03  | 0,03 | 0,05  | 0,04 | 0,07  | 0,06 | 0,09  | 0,09 |
| 3                     | A-A            | 0,01                  | 0,02 | 0,03  | 0,03 | 0,04  | 0,04 | 0,06  | 0,06 | 0,09  | 0,08 |
|                       | B-B            | 0,01                  | 0,01 | 0,03  | 0,03 | 0,05  | 0,05 | 0,07  | 0,07 | 0,09  | 0,09 |
| 4                     | A-A            | 0,01                  | 0,01 | 0,03  | 0,03 | 0,04  | 0,04 | 0,06  | 0,06 | 0,08  | 0,09 |
|                       | B-B            | 0,01                  | 0,01 | 0,03  | 0,02 | 0,05  | 0,05 | 0,07  | 0,07 | 0,09  | 0,09 |
| середній              |                | 0,012                 |      | 0,029 |      | 0,044 |      | 0,064 |      | 0,089 |      |

Таблиця 3.4 - Сумарне спрацювання шийок колінчастого вала двигуна Д-240

| Найменування поверхні тертя | Найменування поверхні тертя | Напрацювання, мото-год |        |        |        |        |
|-----------------------------|-----------------------------|------------------------|--------|--------|--------|--------|
|                             |                             | 917                    | 2250   | 3583   | 5333   | 7333   |
| Шатунні шейки               | 1                           | 0,4525                 | 1,0825 | 1,66   | 2,4225 | 3,3475 |
|                             | 4                           | 1,81                   | 4,33   | 6,64   | 9,69   | 13,39  |
| Корінні шийки               | 1                           | 0,52                   | 1,2476 | 1,912  | 2,7882 | 3,856  |
|                             | 5                           | 2,60                   | 6,238  | 9,56   | 13,941 | 19,28  |
| Всі шийки                   | 9                           | 4,41                   | 10,568 | 16,193 | 23,631 | 32,67  |

Колінчастий вал ДВЗ Д-240 через свою конструкцію має дві основні поверхні тертя: шатунні шийки і корінні шийки. Причому параметри всіх корінних однакові.

Результати досліджень зношування поверхонь тертя шийок колінчастого валу ДВЗ Д-240 наведено на рис. 3.8.

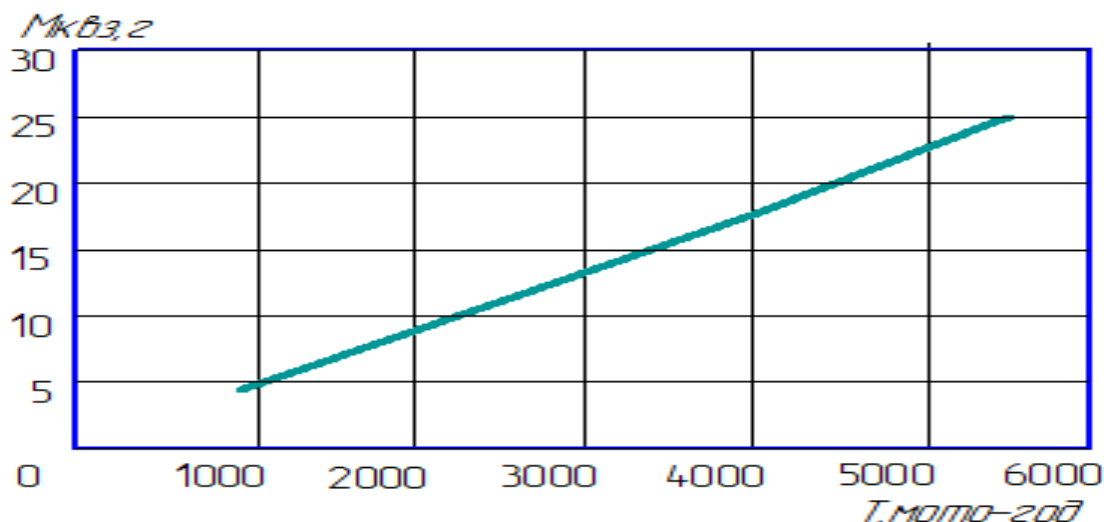


Рисунок 3.8 - Маса заліза, що знімається з шийок колінчастого валу ДВЗ Д-240, залежно від напрацювання

### 3.1.3. Аналіз зношування поршневих кілець

Обмежимося даними по масі заліза, що знімається з комплекту поршневих кілець в цілому по швидкості його надходження в мастильну систему. Оскільки знос отриманий відразу в масових одиницях, це завдання стає досить простим. Масу заліза, що надходить в мастильну систему, обчислювали множенням маси металу, що знімається з поршневих кілець, на масову частку заліза в ньому. Відповідно до черговості розглянемо знос поршневих кілець ДВЗ, підданих випробуванням.

Двигун Д-240 випробовували протягом 5500 мото-год. За цей період знос ГЦ у поясі найбільших зносів досяг 0,3 мм. Знос комплекту кілець одного циліндра в залежності від напрацювання показаний на рис. 3.9 та у табл.3.5.

Загальна маса заліза, що надходить у мастильну систему з комплекту кілець одного циліндра, становить 9.06 грама, а з усіх циліндрів 36,24 грама.

Отже, швидкість зношування поршневих кілець одного циліндра ДВЗ Д-240 – 0,0016 г/мото-год.

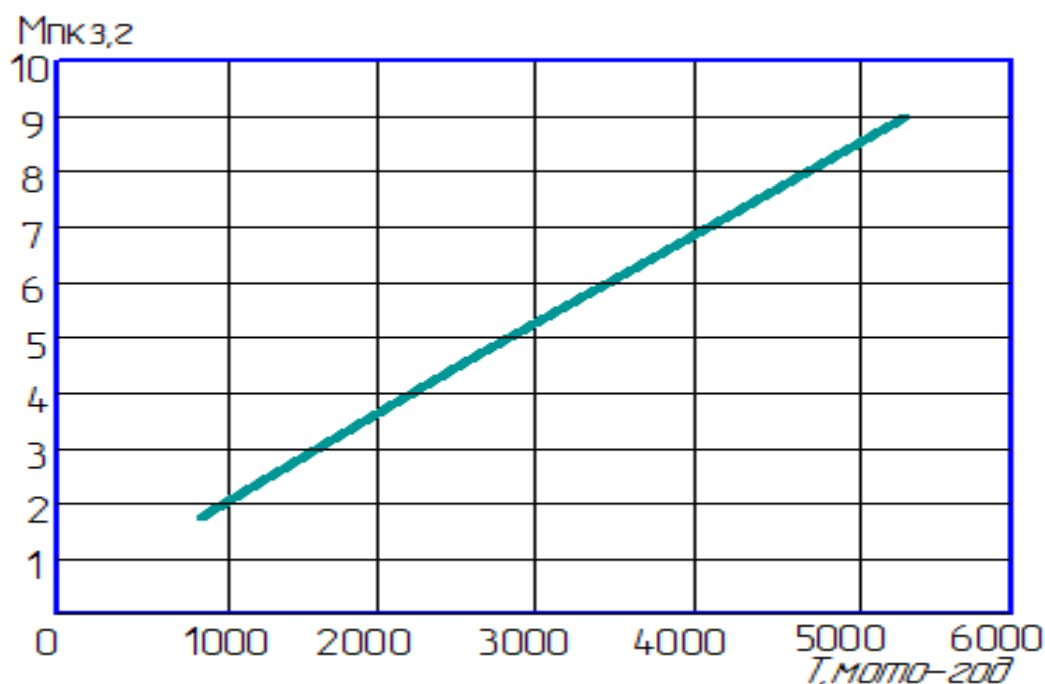


Рисунок 3.9 - Середня маса заліза, що знімається з комплекту поршневих кілець одного циліндра ДВЗ Д -240, в залежності від напрацювання

Маси заліза, що надходять у картер ДВЗ з повного комплекту кілець, становлять відповідно 0,0064 г/мото-год.

Таблиця 3.5 - Сумарний знос поршневих коле при різному технічному стані ДВЗ Д-240,г

| Напрацювання,<br>мото-год | Номер<br>кілець | Номера поршнів |        |        |        |        |        |
|---------------------------|-----------------|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                           |                 | 1              | 2      | 3      | 4      | ср     | а      |
| 917                       | 1               | 0,9702         | 0,7611 | 0,4230 | 0,6351 | 0,69   | 0,215  |
|                           | 2               | 0,5101         | 0,4967 | 0,0060 | 0,3011 | 0,33   | 0,0987 |
|                           | 3               | 0,3766         | 0,4110 | 0,5531 | 0,3145 | 0,41   | 0,134  |
|                           | 4               | 0,073          | 0,0721 | 0,0189 | 0,0362 | 0,08   | 0,028  |
|                           | 5               | 0,0464         | 0,0463 | 0,0722 | 0,0029 | 0,05   | 0,018  |
| 2250                      | 1               | 2,1603         | 1,5776 | 0,9731 | 1,4078 | 3,2797 | 1,1120 |
|                           | 2               | 1,0564         | 1,0470 | 0,0121 | 0,6338 | 0,6873 | 0,1871 |
|                           | 3               | 0,7837         | 0,8330 | 1,6729 | 0,7233 | 1,0057 | 0,321  |
|                           | 4               | 0,1612         | 0,1588 | 0,5346 | 0,0859 | 0,2351 | 0,0724 |
|                           | 5               | 0,1065         | 0,0965 | 0,6939 | 0,2396 | 0,2341 | 0,0714 |
| 3583                      | 1               | 3,9093         | 2,7486 | 2,3607 | 2,0299 | 2,7621 | 0,8710 |
|                           | 2               | 1,6996         | 1,5109 | 0,4712 | 2,1906 | 1,4683 | 0,4561 |
|                           | 3               | 1,2295         | 1,2811 | 2,0167 | 0,8270 | 1,3385 | 0,428  |
|                           | 4               | 0,2411         | 0,2383 | 1,0046 | 0,1858 | 0,4017 | 0,166  |
|                           | 5               | 0,1635         | 0,1488 | 0,7503 | 0,3099 | 0,3431 | 0,106  |
| 5333                      | 1               | 5,9267         | 4,8710 | 4,6154 | 3,6227 | 4,7589 | 0,984  |

|  |      |        |        |        |        |        |        |
|--|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|  | 2    | 2,4320 | 2,2164 | 1,2617 | 3,0555 | 2,2416 | 0,736  |
|  | 3    | 1,7894 | 1,8290 | 2,5793 | 0,9638 | 1,7904 | 0,566  |
|  | 4    | 0,3512 | 0,3486 | 1,4112 | 0,5531 | 0,6635 | 0,189  |
|  | 5    | 0,2449 | 0,2235 | 0,8526 | 0,4423 | 0,4408 | 0,146  |
|  | 7333 | 1      | 8,2927 | 5,6468 | 6,5246 | 7,9751 | 7,1098 |
|  |      | 2      | 3,4344 | 4,4112 | 3,2837 | 3,3148 | 3,6110 |
|  |      | 3      | 2,6323 | 3,0511 | 2,9288 | 2,3856 | 2,7494 |
|  |      | 4      | 0,5611 | 0,5388 | 1,6346 | 1,7154 | 1,1124 |
|  |      | 5      | 0,3801 | 0,6467 | 1,6074 | 1,3853 | 1,0048 |

### 3.2. Дослідження розподілу заліза за елементами мастильної системи

#### ДВЗ

Як було обґрунтовано в другому розділі, для визначення потенційної швидкості надходження заліза в мастильну систему ДВЗ ( $V_n$ ), необхідно знати масу заліза, що надходить до неї з досліджуваних деталей донорів при реалізації потенційного ресурсу.

Залежності маси заліза  $M_z$ , г, що надходить у мастильну систему (рисунок 3.10), має вигляд:

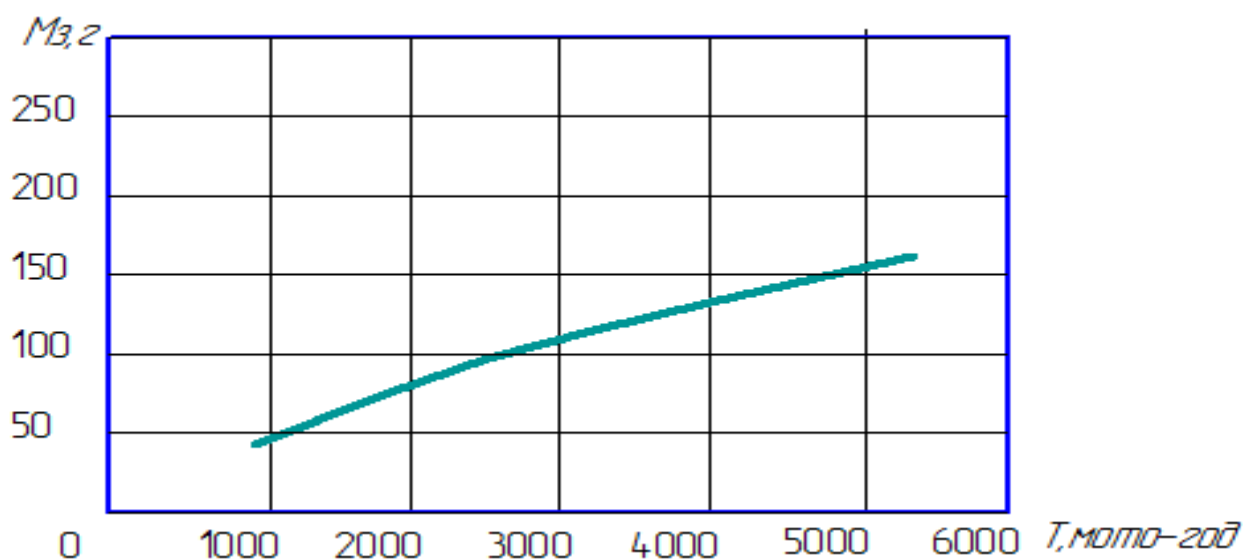


Рисунок 3.10 - Загальна маса заліза, котра надходить у мастильну систему з досліджуваних деталей ДВЗ Д-240 в залежності від напрацювання.

Отже, за час реалізації потенційного ресурсу, маса заліза, що надходить у мастильну систему ДВЗ марки Д-240 - 162,54г. Потенційна швидкість надходження заліза, що знімається з деталей ДВЗ, в мастильну систему, становить 0,0277 г/мото-год.

З цією метою розглянемо швидкості зношування кожної деталі окремо. Необхідно це також у зв'язку з тим, що нами як деталь індикатора прийнята гільза циліндра і, отже, нам необхідно виділити із загальної кількості заліза, що знаходиться в мастильній системі, залізо, зняте саме з ГЦ.

Ще однією причиною є те, що при подальшому розвитку запропонованого нами напряму в діагностуванні, з урахуванням наведених вище досліджень та на підставі виведених за ними закономірностей, може бути знята необхідність проведення стендових та експлуатаційних випробувань нових марок ДВЗ ідентичним пристроєм.

Результати визначення потенційних швидкостей зношування деталей ДВЗ наведено в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6. Швидкості зношування деталей ДВЗ, г/мото-год

| Марка ДВЗ | Найменування деталей |                    |                 |
|-----------|----------------------|--------------------|-----------------|
|           | Гільзи<br>циліндрів  | Поршневі<br>кільця | Колінчастий вал |
| Д-240     | 0,0152               | 0,0064             | 0,0044          |

Необхідно розглянути швидкість їх зношування над мірах маси, а відносних одиницях, які наведені у таблиці 5.7.

Таблиця 3.7 - Відносна швидкість зношування деталей ДВЗ в %

| Марка<br>ДВЗ     | Найменування деталей |                    |                    | Загальна<br>швидкість<br>зношування |
|------------------|----------------------|--------------------|--------------------|-------------------------------------|
|                  | Гільзи<br>циліндрів  | Поршневі<br>кільця | Колінчастий<br>вал |                                     |
| Д-240            | 58,46                | 24,62              | 16,92              | 100                                 |
| Порівн. параметр | 64,87                | 24,47              | 10,69              | 100                                 |

З даних таблиці 3.6 видно, що основними донорами заліза, що надходить у мастильну систему ДВЗ, є ГЦ. Із загальної кількості заліза в середньому 64,84% надходить з гільз циліндрів, 24,47 з поршневих кілець і 10,69% - з колінчастого валу. Причому розкид цих показників від середніх значень незначний і становить  $\pm 4\%$  для гільз циліндрів,  $\pm 1\%$  для поршневих кілець і  $\pm 3\%$  для колінчастих валів.

Таблиця 3.8 - Розподіл заліза за елементами системи змащення двигуна Д-240 між замінами оливи

| Напрацювання, мото-год | Маса заліза в оливі, г | Відносна кількість заліза в оливі, % | Маса заліза у відкладеннях РМЦ, г | Відносна кількість заліза в РМЦ, % | Маса заліза у системі, за цикл, г |
|------------------------|------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| 3062                   | 26,226                 | 34,12                                | 50,638                            | 65,88                              | 76,864                            |
| 3173                   | 28,88048               | 35,98                                | 51,38767                          | 64,02                              | 80,26815                          |
| 3284                   | 30,36286               | 36,56                                | 52,68654                          | 63,44                              | 83,0494                           |
| 3395                   | 28,46144               | 33,16                                | 57,36921                          | 66,84                              | 85,83065                          |
| 3507                   | 28,47417               | 32,16                                | 60,06493                          | 67,84                              | 88,5391                           |

На підставі проведених досліджень щодо зношування деталей ДВЗ (гільза циліндра, поршневі кільця, колінчастий вал) можна зробити такі висновки:

- відповідно до профілю епюру зносу ГЦ можна розділити на сім характерних зон;
- вертикальна епюра зношування ГЦ по поясах, залежно від часу роботи, змінюються непропорційно;
- вертикальна епюра зносу ГЦ залежить від розташування поршневих кілець і кінематики їх руху;
- потенційна швидкість надходження заліза в мастильну систему для ДВЗ марки Д-240 - 0,0277 г/мото-ч.
- близько 65% заліза, що надходить у мастильну систему, знімається з ГЦ, 24% з поршневих кілець і 11% - з шийок колінчастого валу.
- швидкість зношування ГЦ по зонах неоднакова і залежить від напрацювання ДВЗ (ступеня зношеності ГЦ);

розроблено методику, що дозволяє при оцінці зносу деталей ДВЗ, перейти від геометричних одиниць до масових;

знос вище перелічених деталей ДВЗ відбувається у відповідності з лінійною залежністю;

швидкість зносу деталей ДВЗ в ресурсний період є постійною, що підтверджує зроблені нами у другому розділі допущення;

область функціонування встановлених залежностей дійсна від напрацювання 500 мото-год до потенційного значення.

Як відомо, залізо, що надходить в мастильну систему ДВЗ, в основному, розподіляється за трьома напрямками: виноситься в атмосферу разом з олією, що угоріла, осідає в маслофільтрі (РМЦ) і диспергується в маслі. Розподіл його за цими напрямками залежить від конструктивних особливостей ДВЗ, а також від технічного стану деталей ЦПГ та механізму газорозподілу. Крім досліджень, які проводяться для вирішення цих питань, вимірювали прорив газів у картер ДВЗ з метою отримання більш достовірної інформації про стан деталей ЦПГ та газорозподільного механізму.

### 3.3. Результати стендових випробувань ДВЗ Д-240

За час випробувань прорив газів у картер змінився від 30 л/хв до 12 л/хв, що за даними ДЕРЖСТАНДАРТ не виходить за межі допустимого (рис. 3.11).

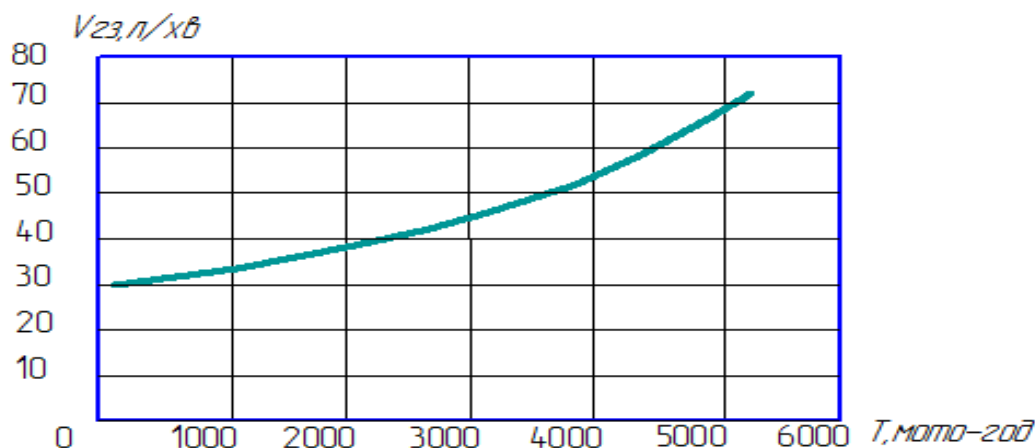


Рисунок 3.11 - Зміна прориву газів у картер ДВЗ Д-240 залежно від напрацювання

Угар оливи змінювався від 79 г/мото-год до 230 г/мото-год, що також знаходиться в допустимих межах. Залежність зміни цього показника від напрацювання ДВЗ відображена рис. 3.12.

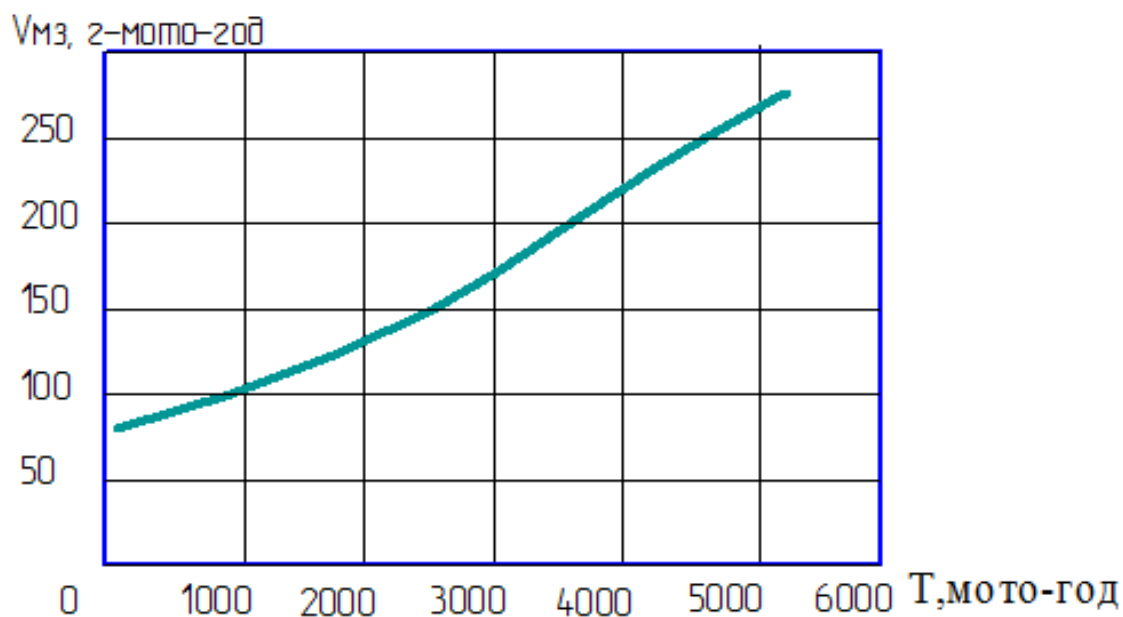


Рисунок 3.12 – Вигорання моторної оливи оливи в залежності від напрацювання ДВЗ Д-240

Розглянемо розподіл заліза за елементами мастильної системи ДВЗ залежно від напрацювання.

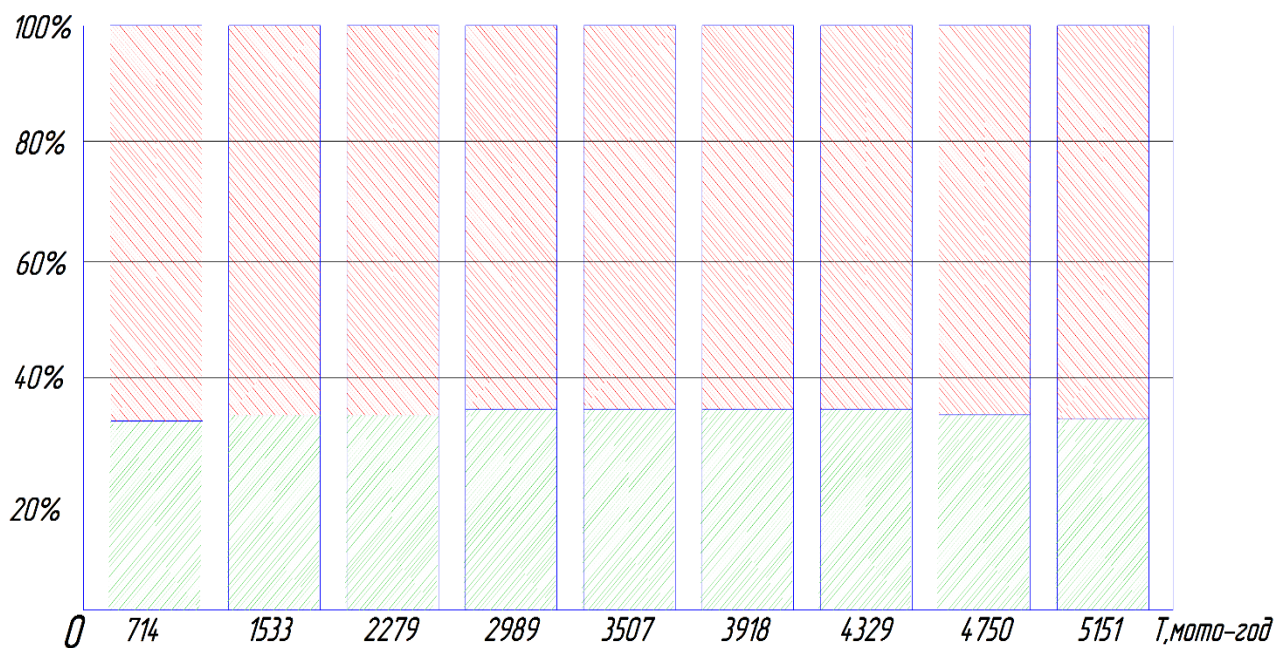


Рисунок 3.13 – Розподілення заліза по елементам мастильної системи ДВЗ Д-240 в залежності від напрацювання: 1 – залізо в оливі; 2 – залізо в системі фільтрації.

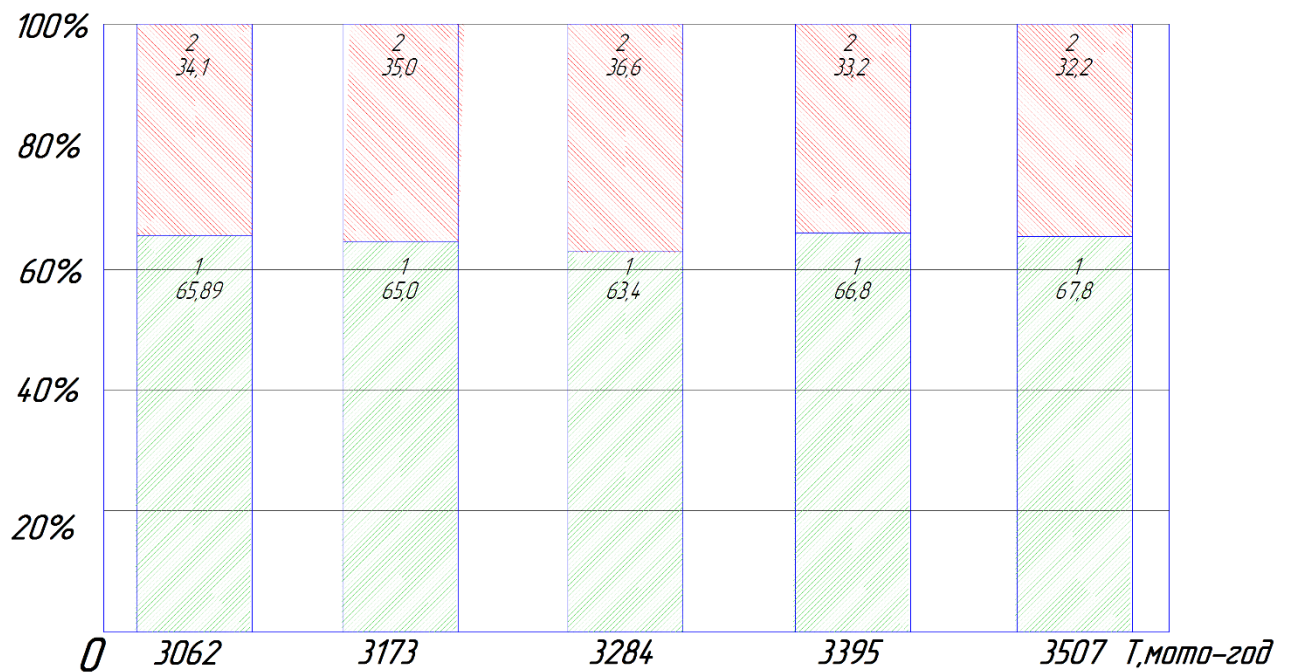


Рисунок 3.14 – Розподілення заліза по елементам мастильної системи ДВЗ Д-240 в інтервалі роботи поточної оливи до заміни: 1 – залізо в оливі; 2 – залізо в системі фільтрації.

У інтервалі напрацювання оливи у ньому перебувало 31,62...33,28% заліза від загальної кількості, середнє значення 32,26%. На підставі аналізу залежностей (рис. 3.13 і 3.14) можна зробити висновок, що в середньому 33-34%, знаходилося в моторному маслі, решта - затримується маслофільтром.

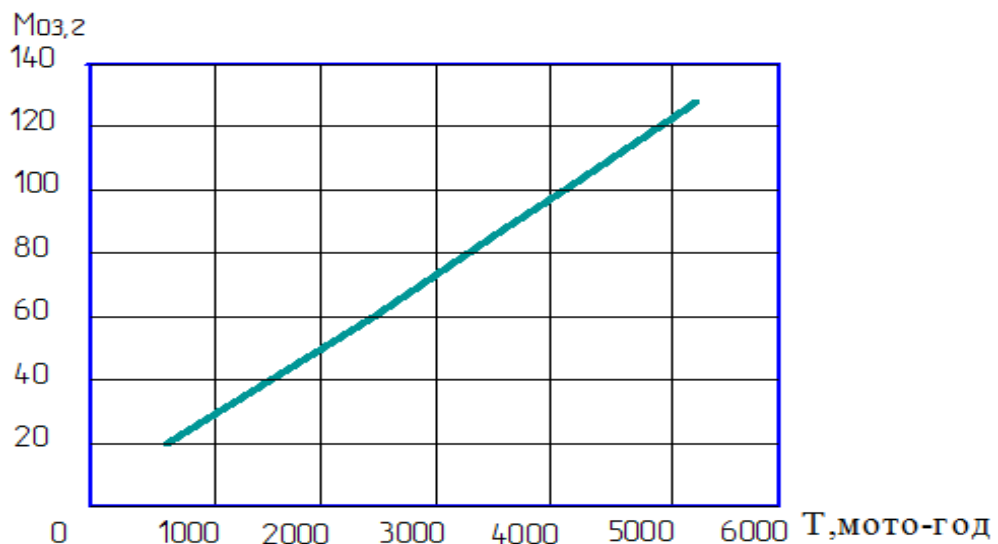


Рисунок 3.15 - Загальна маса заліза, що надійшла в мастильну систему з деталей ДВЗ Д - 240 , в залежності від напрацювання.

Загальна маса заліза, що надійшла в мастильну систему, залежно від напруцювання наведена на рис. 3.15

Таблиця 3.9 - Результати стендових випробувань двигуна Д-240

| Напруцювання, мото-<br>год | Маса заліза в оливі, г | Відносна кількість<br>заліза в оливі, % | Маса заліза в<br>відкладеннях РМЦ, г | Відносна кількість<br>заліза в РМЦ, % | Маса заліза, що<br>знаходиться в системі<br>мащення за цикл, г | Маса заліза<br>вигорілого з оливи, г | Маса заліза, що<br>поступила в<br>мастильну систему за<br>цикл, г | Загальна маса заліза<br>що потрапила в<br>мастильну систему, г |
|----------------------------|------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| 51                         | 0,3121                 |                                         | 0,4273                               |                                       | 0,7394                                                         | 0,7790                               | 1,518                                                             | 1,518                                                          |
| 102                        | 0,1687                 |                                         | 0,294                                |                                       | 0,4629                                                         | 0,4876                               | 0,9503                                                            | 2,4683                                                         |
| 714                        | 3,7665                 | 32,26                                   | 7,91                                 | 67,74                                 | 11,6765                                                        | 5,851                                | 17,5275                                                           | 20,0258                                                        |
| 765                        | 0,2052                 |                                         | 0,2743                               |                                       | 0,4795                                                         | 0,2982                               | 0,7777                                                            | 20,8035                                                        |
| 1533                       | 4,579                  | 32,79                                   | 9,374                                | 67,21                                 | 13,949                                                         | 4,491                                | 18,44                                                             | 39,2437                                                        |
| 1584                       | 0,3874                 |                                         | 0,3481                               |                                       | 0,7355                                                         | 0,3874                               | 1,1229                                                            | 40,3666                                                        |
| 2279                       | 4,2013                 | 32,15                                   | 8,8587                               | 67,85                                 | 13,06                                                          | 5,28                                 | 18,34                                                             | 58,7066                                                        |
| 2989                       | 3,7111                 | 34,97                                   | 6,9                                  | 65,03                                 | 10,6111                                                        | 5,66                                 | 16,2711                                                           | 74,9777                                                        |
| 3062                       | 0,661                  |                                         | 0,6434                               |                                       | 1,3044                                                         | 0,5819                               | 1,8863                                                            | 76,864                                                         |
| 3507                       | 2,6915                 | 34,0                                    | 5,2246                               | 66,0                                  | 7,9161                                                         | 3,759                                | 1,6751                                                            | 88,5391                                                        |
| 3918                       | 2,3876                 | 34,8                                    | 4,4733                               | 65,2                                  | 6,8609                                                         | 3,603                                | 10,4639                                                           | 98,8030                                                        |
| 4329                       | 2,4472                 | 35,01                                   | 4,5448                               | 64,99                                 | 6,992                                                          | 3,767                                | 10,759                                                            | 109,067                                                        |
| 4740                       | 2,1532                 | 33,99                                   | 4,1799                               | 66,01                                 | 6,3331                                                         | 3,9308                               | 10,2639                                                           | 119,3309                                                       |
| 5151                       | 2,0421                 | 33,10                                   | 4,1273                               | 66,9                                  | 6,1694                                                         | 4,0946                               | 10,264                                                            | 129,5949                                                       |

## РОЗДІЛ 4

### ОБҐРУНТУВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

#### 4.1. Визначення залишкового ресурсу ДВЗ

Відповідно до вимог, описаних у розділі 2 було відібрано 5 автомобілів з ДВЗ Д-240. Для підтвердження правильності проведених нами досліджень, а також розробленого програмного продукту, технічний стан ДВЗ оцінювалося трьома способами:

1. Вимірюванням зносу гільз циліндрів з частковим розбиранням ДВЗ;
2. За запропонованою методикою із застосуванням розробленого математичного алгоритму та введенням даних про розподіл заліза за елементами мастильної системи;
3. За запропонованою методикою із застосуванням розробленого математичного алгоритму та встановлених залежностей.

Параметри показників, отримані внаслідок експлуатаційних випробувань ДВЗ Д-240, наведено у таблиці 4.1.

Аналізуючи дані, наведені в таблиці 4.1, можна зробити такі висновки: відхилення параметра середнього зносу ГЦ становить при застосуванні другого способу 0,001...0,003 мм, третього - 0,001...0,006 мм.

В даному випадку наочно видно, як важливий облік ступеня зношеності деталей ДВЗ;

Таблиця 4.1 – Результати оцінки технічного стану ДВЗ Д-240

| № | Наробка на момент діагн. мото- год | Результати діагностування |                           |                      |                          |                      |                          |
|---|------------------------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------|--------------------------|----------------------|--------------------------|
|   |                                    | 1 спосіб                  |                           | 2 спосіб             |                          | 3 спосіб             |                          |
|   |                                    | Середній знос ГЦ, мм      | Залишк. ресурс, мото- год | Середній знос ГЦ, мм | Залишк. ресурс, мото-год | Середній знос ГЦ, мм | Залишк. ресурс, мото-год |
| 1 | 2941                               | 0,148                     | 2659                      | 0,145                | $\frac{2837}{3068}$      | 0,146                | $\frac{2817}{3046}$      |

|   |      |       |      |       |                     |       |                     |
|---|------|-------|------|-------|---------------------|-------|---------------------|
| 2 | 2423 | 0,154 | 3077 | 0,148 | <u>2940</u><br>2678 | 0,149 | <u>2822</u><br>2570 |
| 3 | 2193 | 0,112 | 3307 | 0,114 | <u>3411</u><br>3668 | 0,118 | <u>3295</u><br>3543 |
| 4 | 2313 | 0,129 | 3187 | 0,131 | <u>3141</u><br>3079 | 0,132 | <u>3109</u><br>2988 |
| 5 | 1316 | 0,082 | 4139 | 0,083 | <u>3992</u><br>3603 | 0,079 | <u>4191</u><br>3783 |

\* - У чисельнику вказано залишковий ресурс за дотримання умов експлуатації, передбачених заводом-виробником

\*\* - У знаменнику - при збереженні існуючих умов експлуатації.

## ВИСНОВКИ

На підставі результатів досліджень можна зробити такі висновки:

1. розроблена методика визначення надходження заліза в мастильну систему з урахуванням зношування деталей правильна, т.к. параметри показників, визначені розрахунковим шляхом та за складом моторного оливи, близькі;
2. встановлені граничні параметри швидкості надходження заліза до мастильної системи для ресурсного періоду, за умови дотримання умов експлуатації;
3. розроблена методика визначення швидкості зношування деталей може бути застосована для будь-якої іншої марки ДВЗ;
4. на основі отриманих даних про ступінь і зношеності деталей можна з великою достовірністю визначити залишковий ресурс ДВЗ, а при постійному контролі швидкості надходження заліза в мастильну систему і, отже, умов експлуатації, максимально використовувати ресурс, закладений заводом-виробником.
5. Розподіл заліза за елементами мастильної системи залежить від напруцювання ДВЗ і оливи, при цьому потенційна швидкість надходження заліза в мастильну систему ДВЗ Д-240 - 0,0283 г/мото-год;
6. Встановлено рівень та швидкість вигорання оливи в залежності від напруцювання ДВЗ, тобто технічного стану деталей ЦПГ .
7. Розроблено методику контролю системи очищення оливи з визначенням конгрольних параметрів функціонування та діагностування системи. Так, згідно досліджень, коефіцієнт фільтрування для ДВЗ Д-240 = 0,6633;
8. Розроблена методика та вихідні дані для корегування періодичності заміни оливи (періодичності ТО) в залежності від пробігу двигуна

## ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Форнальчик Є.Ю., Олісевич М.С., Мاستикаш ОЛ., Пельо Р.А. Технічна експлуатація та надійність автомобілів: Навчальний посібник. – Львів: Афіша, 2004.-492 с.
2. Канарчук В.Є., Лудченко О.А., Чигиринець А.Д. Основи технічного обслуговування і ремонту автомобілів: Підручник. – К.: Вища шк., 1994. – (У 3-х кн.): Кн. 1: Теоретичні основи: Технологія. – 342 с; Кн. 2: Організація, планування і управління. – 383 с; Кн. 3: Ремонт автотранспортних засобів. – 599 с.
3. Rahnejat H. Tribology and Dynamics of Engine and Powertrain: Fundamentals, Applications and Future Trends. Woodhead Publishing, 2010. XXX, 1018 p.
4. Сандомирський М.Г. Трактори та автомобілі. Ч.1. Автотракторні двигуни // Навчальний посібник / М.Г. Сандомирський, М.Ф. Бойко, А.Т. Лебедев– К.: Вища школа, 2000. – 357с.
5. Маркович С. І. Експлуатація та ремонт двигунів внутрішнього згоряння : навч. посіб. / С. І. Маркович, О. В. Бевз ; Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. - Кропивницький : ЦНТУ, 2022. - 334 с.
6. Ionsson R. Richten warmebehandelter Werkstiicke. II HTM: Harter. - techn. Mitt.- 1998.-53, №1.-5-8.
7. Verbesserung der Teclmologie der Werkstuckverfestigung durch plastische Oberflächenverformung I Belkin L. M. etc. II Maschinenbautechnik. - 1989. -38, №12.
8. Сандомирський М.Г. Трактори та автомобілі. Ч.1. Автотракторні двигуни // Навчальний посібник / М.Г. Сандомирський, М.Ф. Бойко, А.Т. Лебедев– К.: Вища школа, 2000. – 357с.
9. Сахно В. П. Експлуатаційні властивості автомобілів / В. П. Сахно. – К.: Видавництво “КВІЦ”, 2006. – 174 с.
10. Клімов С.В. Організація технічного сервісу машин: Навчальний посібник, – Рівне: НУВГП, 2011 – 120 с.

11. Технічний сервіс в АПК : навчально-методичний комплекс / С.М. Грушецький, І.М. Бендера, О.В. Козаченко та ін. За ред. С.М. Грушецького, І.М. Бендери. – Кам'янець-Подільський: ФОП Сисин Я.І., 2014. – 680 с.
12. Варнаков В.В. и др. Технический сервис машин сельскохозяйственного назначения / В.В. Варнаков, В.В. Стрельцов, В.Н. Попов, В.Ф. Карпенков. – М.: КолосС, 2004. – 253 с.
13. Вознюк Л.Ф. та ін. Технічне обслуговування і діагностування с.-г. машин. К.: Урожай, 1994.
14. Вознюк Л.Ф. Іщенко В.В., Михайлович Я.М. та ін. Технічне обслуговування і діагностування сільськогосподарських машин. - К.: Урожай, 1994. -216 с.
15. Лауш П.В., Василенко І.Ф., Лесюк Т.П., Дьомін О.А., Чабанний В.Я., Лауш Н.П., Орищенко С.Б., Кухаренко В.С., Лауш С.Г. Технічне обслуговування та ремонт сільськогосподарської техніки: Підручник. В 2-х ч. /За ред. П.В.Лауша та І.Ф.Василенка. - Кіровоград: ПОЛІМЕД-Сервіс, 2007. - Ч.І, 461 с.; Ч.ІІ, 444 с.
16. І.І. Агулов, Л.Ф. Вознюк, О.В. Левчій. Довідник по технічному обслуговуванню сільськогосподарських машин - К. : Урожай, 1989. - 256с.
17. Довідник сільського інженера. В.Д.Гречкосій, О.М.Погорілець, І.І.Ревенко, В.С.Колісник та ін.- К.: Урожай, 1988. - 360 с