

НУБІП України

НУБІП України

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

01.12 – КМР. 463 “С” 2023.03.28. 032 ПЗ

САЛО МАКСИМ СТАНІСЛАВОВИЧ

2023 р.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Факультет

Конструювання та дизайну

УДК 61:01-5/1694-3

ПОГОДЖЕНО

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри
Надійності техніки

(назва кафедри)

Новицький А.В.

(підпис)

(ПІБ)

“ ” 2023 р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему «Удосконалення технології діагностування циліндропоршневої групи
дизельного двигуна за параметрами картерних газів»

Спеціальність 133 – «Галузеве машинобудування»

(код і назва)

Освітня програма «Технічний сервіс машин та обладнання

сільськогосподарського виробництва

(назва)

Орієнтація освітньої програми

освітньо-професійна

(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Гарант освітньої програми

К.Т.Н., доцент

Новицький А.В.

(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

(ПІБ)

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи:

К.Т.Н., доцент

Банний О.О.

(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

(ПІБ)

Виконав:

Сало М.С.

(підпис)

(ПІБ)

КИЇВ - 2023

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Факультет

Конструювання та дизайну

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри Надійності техніки

(назва кафедри)

к.т.н., доцент

Новицький А.В.

(підпис)

(ПІБ)

2022 р.

ЗАВДАННЯ

ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ

Садо Максим Станіславович

(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність

133 – «Галузеве машинобудування»

(код і назва)

Освітня програма «Технічний сервіс машин та обладнання

сільськогосподарського виробництва

(назва)

Орієнтація освітньої програми

освітньо-професійна

(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Тема магістерської роботи

«Удосконалення технології діагностування

циліндропоршневої групи дизельного двигуна за параметрами картерних газів»

затверджена наказом ректора НУБіП України від 28 березня 2023р. № 463 «С»

Термін подання завершеної роботи на кафедру

2023.11.12

(рік, місяць, число)

Вихідні дані до магістерської роботи Сільськогосподарське виробництво
знаходиться в технічній та технологічній кризі, практично відсутня матеріально-
технічна основа зростання її ефективності. Спостерігається подальше
скорочення парку тракторів, автомобілів, зерно- та кормозбиральних комбайнів.
сільськогосподарських та інших машин у сільгоспдприємствах, збільшуються
питомі витрати на підтримку парку у працездатному стані.

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Аналіз відмов турбокомпресорів автотракторної техніки;
2. Підвищити ресурс техніки
3. Отримати від діагностування позитивний економічний ефект.

Дата видачі завдання «15» жовтня 2022 року

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

к.т.н., доцент

(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Банний О.О.

(ПІБ)

Завдання прийняв до виконання

(підпис)

Лобода Б.Р.

(ПІБ)

ЗМІСТ

| | |
|--|----|
| ВСТУП | 6 |
| РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ | 9 |
| 1.1 Дизельний двигун – як об'єкт діагностування | 9 |
| 1.2 Аналіз існуючих методів та засобів діагностики циліндропоршневої групи | 11 |
| 1.2.1 Компресія, падіння тиску, розрядження у надпоршневому просторі | 11 |
| РОЗДІЛ 2 ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ ФАКТОРІВ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ПАРАМЕТРИ КАРТЕРНИХ ГАЗІВ | 35 |
| 2.1. Програма проведення роботи | 35 |
| 2.2 Особливості методики проведення роботи | 35 |
| 2.2.1 Загальна методика досліджень | 35 |
| 2.2.2 Методика визначення оптимальних режимів діагностування | 38 |
| 2.2.3 Експериментальне встановлення та обладнання для моделювання факторів, що впливають на параметри картерних газів | 38 |
| 2.2.4 Пристрій для оцінки технічного стану циліндропоршневої групи за параметрами картерних газів | 41 |
| 2.2.5 Методики досліджень факторів, що впливають на параметри картерних газів | 47 |
| 2.3 Дослідно-виробнича перевірка результатів дослідження | 48 |
| 2.4 Математична модель кореляційної залежності прориву газів у порожнину картера від факторів, що впливають | 50 |
| РОЗДІЛ 3 ТЕОРЕТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ КРИТЕРІЇ ДІАГНОСТУВАННЯ | 54 |
| 3.1 Обґрунтування критеріїв вибору параметра діагностування | 54 |
| 3.4 Оцінка технічного стану циліндропоршневої групи методом багатофакторного регресійного аналізу | 63 |

| | | |
|---|---|-----|
| 3.5 | Вплив динамічних явищ у двигуні на параметри картерних газів | 66 |
| 3.6 | Вплив теплових умов на величину проміжків діагностованих сполучень | 68 |
| 3.7 | Вплив моторного масла на прорив газів у картер двигуна | 69 |
| 3.8 | Прогнозування залишкового ресурсу деталей циліндро-поршневої групи .. | 72 |
| 3.9 | Висновки з третього розділу | 77 |
| РОЗДІЛ 4 РЕЗУЛЬТАТИ І АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ | | 78 |
| 4.2 | Прийняття рішень щодо результатів діагностування за параметрами картерних газів | 87 |
| 4.3 | Оцінка часу, що витрачається на операції діагностування та вимірювання діагностичних параметрів | 88 |
| 4.4 | Рекомендації щодо доопрацювання елементів та структури KI-28292 | 88 |
| 4.5 | Висновки з третього розділу | 88 |
| РОЗДІЛ 5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА РЕЗУЛЬТАТІВ РОБОТИ | | 90 |
| ОСНОВНІ ВИСНОВКИ І РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ | | 95 |
| СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ | | 97 |
| ДОДАТКИ | | 102 |

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

ВСТУП

В останнє десятиліття в АПК України посилюється негативні тенденції у сфері технічної оснащеності сільськогосподарського виробництва: скорочення чисельності машинно-тракторного парку вітчизняного виробництва, погіршення його технічного стану, а також моральне та фізичне старіння.

Сільськогосподарське виробництво знаходиться в технічній та технологічній кризі, практично відсутня матеріально-технічна основа зростання її ефективності. Спостерігається подальше скорочення парку тракторів, автомобілів, зерно- та кормозбиральних комбайнів, сільськогосподарських та інших машин у сільгосп підприємствах, збільшуються питомі витрати на підтримку парку у працездатному стані.

Недостатня кількість техніки призводить до того, що не витримуються оптимальні агротехнічні терміни виконання польових робіт, а це, у свою чергу, призводить до втрат у кінцевому продукті. Високий ступінь зношування машин обумовлює значні втрати врожаю при збиранні. Крім того, близько 20% техніки через критичний зношування не задіяно в польових роботах [52]. Зростання цін на витратні матеріали, в тому числі і на паливо мастильні матеріали, запасні частини, призвело до зростання вартості технічного обслуговування та ремонту машин. Тому у виробничій експлуатації техніки нині найважливішими завданнями є максимальне використання наявних резервів для ефективного функціонування та експлуатації МТТ. Що, у свою чергу, робить необхідним освоєння прогресивних форм технічного обслуговування, діагностування, ремонту та зберігання сільськогосподарської техніки; розробку нових технічних вимог та технології ТО та ремонту машин; освоєння стратегії ТО та ремонту за поточним станом з визначенням залишкового ресурсу параметрів машин.

Для підтримки техніки у працездатному стані, своєчасного виявлення несправностей та запобігання відмовам проводиться діагностування.

Існуюче нині технічне діагностування дизельних двигунів проводиться зазвичай із частковою розбиранням. Такий спосіб дуже трудомісткий, вимагає значних матеріальних витрат і не завжди забезпечує отримання якісних показників, необхідних проведення технічного обслуговування. Також потрібні діагностичні засоби, що дозволяють проводити вимірювання параметрів технічного стану під час роботи в експлуатаційних умовах. Контролюючи діагностичні параметри та оцінюючи характер їхньої зміни, можна відстежувати технічний стан дизеля. Використання сучасних досягнень в інформаційно-вимірювальній, обчислювальній та радіоелектронній техніці дозволяє створити пристрої, що володіють високою точністю та універсальністю. Вибравши діагностичний параметр, що відповідає умовам безробоїрного діагностування, можна створити пристрої для цих цілей. Широке впровадження таких пристроїв

дозволяє підвищити якість, швидкість та об'єктивність контролю, одночасно досягаючи високого рівня автоматизації та умов праці під час виконання діагностичних робіт.

Створення діагностичного пристрою, яким оцінюється технічний стан циліндропоршневої групи дизеля за параметрами картерних газів, та вдосконалення технології діагностування за даними параметрами стало визначальною метою даної роботи. Намічена мета зумовила постановку завдань майбутніх досліджень, вирішення яких дозволило виявити закономірності впливу різних факторів на діагностичний параметр витрати картерних газів, слабкі та сильні сторони способу діагностування, що розглядається.

В основу робочої гіпотези покладено можливість підвищення якості оцінки технічного стану циліндропоршневої групи за діагностичними параметрами картерних газів без розбирання двигуна.

Мета роботи. Удосконалення технології діагностування циліндропоршневої групи дизелів за параметрами картерних газів, що забезпечує підвищення точності та достовірності діагностування при зниженні витрат та трудомісткості робіт.

Об'єкт дослідження. Циліндропоршнева група дизельних автотракторних двигунів внутрішнього згорання, витрата картерних газів як діагностичний параметр.

Методика досліджень. Як особливості основних методик застосовувалися системні дослідження, логіка наукових досліджень та математичне моделювання. В результаті розроблено уточнення методик лабораторних досліджень із застосуванням математичної статистики, регресійного аналізу та сучасних обчислювальних засобів.

Наукова новизна: полягає у встановленні закономірностей впливу факторів умов та режимів роботи двигуна на діагностичний параметр витрати картерних газів, розроблення математичної моделі, відмінною особливістю якої є облік різних факторів при діагностуванні ЦПГ автотракторних двигунів, що підвищує точність та достовірність діагностування. Обґрунтовано зниження необхідної температури охолоджуючої рідини двигуна при діагностуванні параметрів картерних газів.

Практична цінність роботи. На підставі проведених досліджень запропоновано вдосконалену технологію діагностування циліндропоршневої групи двигуна за параметрами картерних газів, що дозволяє скоротити час діагностування до 2-х разів та підвищити точність вимірювань на 10...20%; розроблено пристрій, що дозволяє вимірювати витрату та тиск газів у порожнині картера.

Достовірність результатів роботи підтверджується лабораторними та

експлуатаційними випробуваннями, використанням сучасних методів та технічних засобів досліджень, а також експериментально-теоретичними положеннями з математичного планування експерименту, одержанням результату у виробництві.

Апробація роботи. Основні положення та результати досліджень доповідалися на X Міжнародній науково-технічній конференції з нагоди 116-ї річниці від дня народження доктора технічних наук, професора, члена-кореспондента ВАСГНІЛ, віцепрезидента УАСГН Володимира Савовича КРАМАРОВА (1906-1987) та 125-ї річниці НУБіП України «КРАМАРОВСЬКІ ЧИТАННЯ» (23-24 лютого 2023 р)

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Дизельний двигун – як об'єкт діагностування

Ефективна робота тракторів, автомобілів, комбайнів та складних сільськогосподарських машин значною мірою визначається технічним станом двигуна. Перед двигуна доводиться за окремими типами машин до 50% основних несправностей і відмов, а трудомісткість усунення може досягати 40% загального часу усунення відмов і несправностей машин [28,34,52,62]. Після ремонту, за даними авторів, кількість відмов збільшується на 20...30%. У самому двигуні найменш надійними є: системи запалювання та впорскування палива – до 45% відмов, циліндропоршнева група – до 20%, охолодження та змашування – до 10%; газорозподільний механізм – до 15% [34,48]. Згідно з численними дослідженнями [1, 2, 12, 15, 27], довговічність як нового, так і капітально відремонтованого двигуна залежить в основному від технічного стану двох сполучень - "шпийка колінчастого валу - вкладиш" і "поршневе кільце - підлога циліндра". Відмови, пов'язані зі зносом цих сполучень, є найчастішими причинами капітального ремонту автотракторних дизелів.

Циліндропоршнева група (ЦПГ) на 80% визначає ресурс до першого ремонту двигуна внутрішнього згорання [61]. Для підтримки його високому рівні необхідно вдосконалення методів і засобів технічного діагностування. Потреба у технічному діагностуванні ЦПГ підвищилася також у зв'язку з розширенням застосування «безрозбірного відновлення» пар ДВЗ [35].

Робочий ресурс автотракторного двигуна внутрішнього згорання (ДВС) залежить, насамперед, стану деталей циліндропоршневої групи. Необхідно визначити настання моменту граничного стану деталей циліндропоршневої групи двигуна, починаючи з якого його експлуатація економічно невиправдана, і тому має бути припинена. Для діагностування дизелів відповідно до ГОСТ 23435-79 [142] існує номенклатура діагностичних параметрів, за якими можна судити про роботу дизеля в цілому або роботу окремих його агрегатів та вузлів. При діагностуванні двигуна необхідно перевіряти прямі (структурні) або непрямі (функціонально-залежні від структурних) параметри.

За планово-попереджувальною системою обслуговування двигуни підлягають ремонту після виконання ними певного обсягу робіт, виміряного в умовних гектарах ґранки, мото-годинах або кілограмах витраченого палива, причому цей обсяг робіт встановлено однаковим для однотипних марок двигунів [8]. При встановленні зазначеного обсягу виходили з припущення, що є досить тісний зв'язок між зношуванням деталей та їх напрацюванням. Однак численні дослідження та спостереження за роботою двигунів у різних умовах рядової експлуатації свідчає про наявність великого розкиду виміряних значень зношування деталей, віднесених до однієї і тієї ж напрацювання

[13,20,25,26,27,33,36,88]. Термін служби деяких деталей, наприклад, поршнів, гільз циліндрів і поршневих кілець можуть змінюватися в вельми широких межах залежно від багатьох факторів: вихідної мікрогеометрії; запиленості повітря та стану очищувача повітря; теплового, навантажувального та швидкісного режимів роботи двигуна; фізико-хімічних властивостей палива та олії; стани інших систем двигуна (газорозподілу, паливоподачі, мастила) та ін [25, 33].

За даними дослідження [28] швидкості зношування гільз циліндрів двигунів у ряді випадків різняться між собою кратно. Зношування верхніх компресійних кілець, віднесені до однієї і тієї ж напрацювання, відрізняються один від одного в 15 разів. За даними інших дослідників [51] швидкості зношування 10 гільз циліндрів різняться між собою в 12 разів, а швидкості зношування верхніх компресійних кілець - у 17 разів.

З цього випливає, що використання напрацювання з метою оцінки технічного стану ЦПГ призводить до невиправданого збільшення експлуатаційних витрат. Ці витрати пов'язані як із передчасними ремонтами двигунів, що мають значний недовикористаний ресурс, так і з аварійними поломками під час експлуатації надмірно зношених двигунів. Значного скорочення зазначених витрат можна досягти лише в результаті розробки та впровадження точних методів діагностування технічного стану циліндропоршневої групи.

Визначення стану циліндропоршневої групи за структурними параметрами - вельми трудомістка операція, яка пов'язана з необґрунтованими витратами часу на розбирання та складання двигуна, а також з порушенням приробленості деталей сполучення та збільшення інтенсивності їх зношування [62]. Вказану перевірку краще проводити за діагностичними параметрами, які дозволяють з необхідною достовірністю побічно визначати стан даного вузла без розбирання двигуна.

Виходячи з того, що циліндропоршнева група є найбільш важливим вузлом, що надає істотний вплив на міжремонтне напрацювання двигуна [14], в ГОСНИТИ, [40,41] розроблено цілий комплекс діагностичних параметрів та засобів перевірки цього вузла. Більшість розроблених методів діагностування технічного стану, що безпосередньо характеризують герметичність кільцевого ущільнення, засновані на визначенні наступних параметрів: витрата олії на чад; прорив відпрацьованих газів у картер двигуна; витік стисненого повітря з камери згоряння при двигуні, що не працює; тиск у кінці такту стиснення; потужність, час запуску холодного двигуна і т.д. [33].

Погіршення технічного стану деталей циліндропоршневої групи призводить до зменшення індикаторної потужності, зростання механічних витрат,

зниження коефіцієнта надлишку повітря, зростання витоків газу в картер, прискорення насичення мастила продуктами розкладання та неповного згоряння палива [34]. При цьому зростає питома витрата олії на чад, різко збільшується концентрація таких компонентів випускних газів, як окис вуглецю та водню, що характеризують неповноту згоряння палива. Варто зазначити, що за даними [57] картерні гази мають канцерогенність, у 20 разів більшу, ніж гази, що відпрацювали.

Підвищена витрата картерних газів робить сам по собі шкідливий вплив як на двигун (прискорено розкладає «старить» моторне масло, призводить до погіршення процесу змащування ЦПГ) так і на навколишнє середовище (викиди в атмосферу). Тому параметр витрати картерних газів може бути не лише оцінним показником технічного стану циліндропоршневої групи, а й екологічним та економічним критеріями експлуатації техніки. У зв'язку з цим варто контролювати витрати картерних газів, вживаючи заходів, спрямованих на попередження можливих відмов та підвищення надійності та безпеки експлуатації машини.

1.2 Аналіз існуючих методів та засобів діагностики циліндропоршневої групи

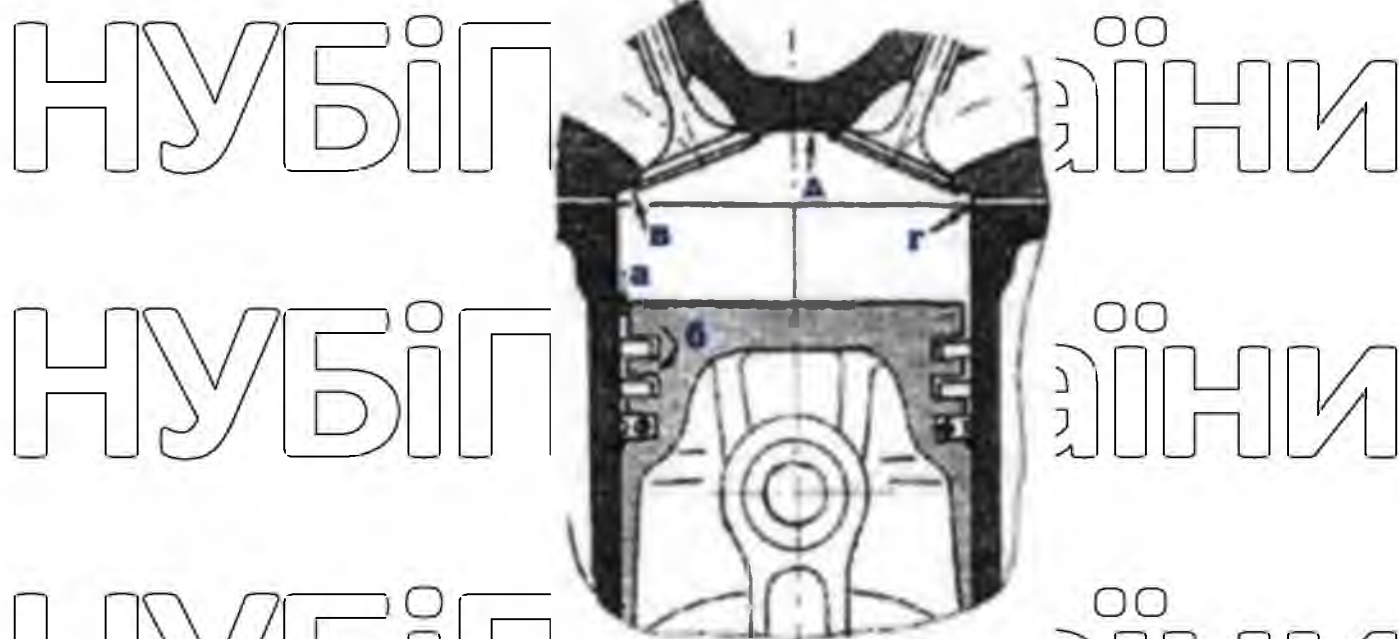
1.2.1 Компресія, падіння тиску, розрядження у надпоршневому просторі

Технічний стан циліндропоршневої групи можна оцінити по компресії (тиску в кінці ходу стиснення), розрядження та тесту падіння тиску [7, 10, 34, 50, 66,89].

Метод визначення компресії заснований на явищі зниження тиску в кінці такту стиснення зі збільшенням зношеності деталей кільцевого ущільнення через прорив частини газів з камери згоряння в картер двигуна. Метод особливо чутливий на пускових оборотах двигуна, тому вимрювання компресії проводять на пускових оборотах при прокручуванні коінчастого валу за допомогою пускового пристрою або під час роботи двигуна на мінімально-стійких оборотах холостого ходу. Значення компресії за цих оборотів у гранично зношеного двигуна зменшується проти новим двигуном на 25 - 35%.

Слід зазначити, що компресія є показником загальної нещільності робочої порожнини циліндра, яка залежить не тільки від зносу деталей ЦПГ, але також від наявності нещільностей в прокладці головки циліндрів і клапанах механізму газорозподілу (рисунк 1.1).

Крім цього компресія залежить від засміченості очищувача повітря і зміни фаз газорозподілу. Зміна компресії з цих причин може бути більшою, ніж викликане зносом деталей циліндропоршневої групи.



а) у зазор між кільцями та поверхнею циліндра або у зазор у замку кільць; б) у зазор по торцевих поверхнях кільць та канавок поршнів; в) у зазор між сідлом та клапаном; г) у зазор між пошкодженою прокладкою та площиною головки або блоку; д) у тріщину в стінці камери згоряння

Рисунок 1.1 Основні місця витоків повітря з камери згоряння.

Основні причини, що призводять до зміни компресії: неправильне регулювання клапанів; пошкодження гідрокомпенсаторів теплових зазорів; знос напрямних втулок, деформація стрижня клапана; прогорання клапана; наскрізна тріщина в головці блоку циліндрів; жолоблення посадкової поверхні головки блоку; прогорання прокладки головки блоку; знос стін циліндра та компресійних кільць; закоксування або руйнування поршневих кільць; наскрізне прогорання або часткове руйнування поршня; нагар на стінках камери згоряння та днище поршня.

Виділення тієї частини компресії, яка характеризує стан зношення циліндропоршневої групи, досягається перевіркою компресії з вливанням в циліндри 20...30 грам мастила, тим самим, герметизуючи з'єднання поршень - циліндр. За різницею її значень до та після вливання олії оцінюють технічний стан ЦПГ та ГРМ [139]. Цим методом достовірно можна виявляти лише наявність аварійних зносів в окремих циліндрах та нерівномірність компресії по циліндрах. Але оскільки компресія залежить від багатьох параметрів: температура, оберти обертання колінчастого валу, наявність олії на стінках циліндрів, оцінити стан циліндропоршневої групи можна лише приблизно.

Таблиця 1.1 Деякі дефекти та несправності двигунів, що виявляються виміром компресії [112]

| Несправність | Ознаки несправності | Компресія, МПа | |
|---|--|-------------------|------------------|
| | | відкрита заслінка | закрита заслінка |
| Справний двигун | відсутні | 1,0-1,2 | 0,6-0,8 |
| Тріщина в перемичці поршня | Синій дим вихлопу, великий тиск у картері | 0,6-0,8 | 0,3-0,4 |
| Прогар поршня | Те ж саме, циліндр не працює на малих оборотах | 0,5-0,5 | 0-0,1 |
| Залягання кілець у канавках | Те саме | 0,2-0,4 | 0-0,2 |
| Задира поршня циліндра | Те саме, можлива нестійка робота на холостому ході | 0,2-0,8 | 0,1-0,5 |
| Деформація клапана | Циліндр не працює на малих обертах | 0,3-0,7 | 0-0,2 |
| Прогар клапана | Те саме | 0,1-0,4 | 0 |
| Зависання клапана | Те саме | 0,4-0,8 | 0,2-0,4 |
| Дефект профілю кулачка розподільного валу | Те саме | 0,7-0,8 | 0,1-0,3 |
| Підвищення кількості нагару в камері згоряння | Підвищена витрата палива з синім димом вихлопу | 1,2-1,5 | 0,9-1,2 |
| Природне зношування деталей поршневої групи | Те саме | 0,6-0,9 | 0,4-0,6 |

Метод визначення технічного стану циліндропоршневої групи щодо відносної нещільності, тобто по витoku стисненого повітря [98], що вводиться під певним тиском в циліндр, що перевіряється непрацюючого двигуна при закритих клапанах, відноситься до статичного вимірювання, звідси велика ймовірність неточності оцінки. Відносну нещільність циліндрів вимірюють за часом падіння тиску повітря, що закачується в циліндри. Для справного двигуна різниця падінь тиску в циліндрах зазвичай становить менше 20%.

Визначення герметичності надпоршневого простору вакуумним методом засноване на вимірі розрядження в момент коли поршень проходить від ВМТ до НМТ [45]. У момент руху поршня вииз на такті розширення надпоршневому просторі створюється вакуумметричний тиск. Величина вакуумметричного

тиску, зафіксована при стабільному положенні стрілки вакуумметра, характеризуватиме стан ущільнень у циліндрі, що перевіряється

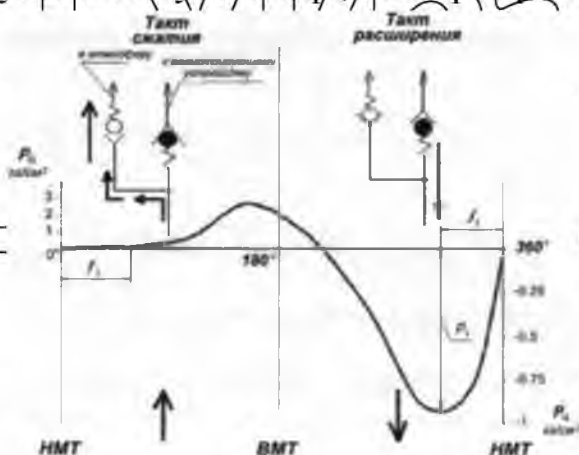
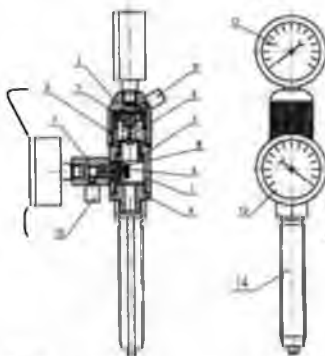


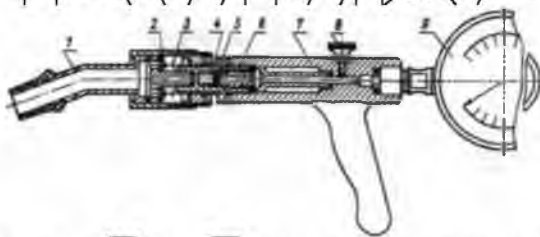
Рисунок 1.2 - Принцип вимірювання величини повного вакууму P_1 .

Діагностування цими методами здійснюється приладами КІ-28169-ГосНИІ, КІ-28165, АГЦ (рисунки 1.3, 1.4, 1.5).



1 – корпус клапанів; 2 – кришка-заглушка; 3 – сідло клапана тиску; 4 – клапан випускний; 5 - гвинт клапана регулювальний; 6 – фланець; 8 - корпус вакуумметра; 9 – сідло вакуумного клапана; 10 - вакуумний клапан; 11 - гвинт клапана вирівнювання тиску вакуумметра; 12 - гвинт клапана вирівнювання тиску манометра; 13 - манометр; 14 - вакуумметр; 15 - дистанційна трубка (перехідник)

Рисунок 1.3 - універсальний компресорно-вакуумний прилад КІ-28169.



1 – наконечник; 2, 5 – клапани; 3, 4 - пружини клапанів; 6 - регулювальний гвинт; 7 – корпус; 8 – вентиль 9 - вакуумметр

Рисунок 1.4 - Вакуум-аналізатор KI-5315



Рисунок 1.5 - АГЦ (аналізатора герметичності циліндрів).

Тиск стиснення можна визначити опосередковано по струму, що споживається стартером, або падіння напруги на затисканах акумуляторної батареї при прокручуванні двигуна [19, 23, 94, 109]. Цей метод заснований на залежності моменту, що крутить, створюваного стартером, від тиску стиснення в циліндрах двигуна. Для реєстрації кривих струму і напруги використовують прилади, що самопишуть, наприклад, мотор-тестери і скануючі пристрої. За допомогою цих пристроїв визначають відносну нерівномірність стиснення. Найменший струм або падіння напруги відповідають зношеним циліндрам. Для співвідношення сигналів з циліндрами використовують датчик Холла, який визначає поворот колінчастого валу, або п'єзоелектричний датчик, який встановлюється на паливопровід високого тиску, і співвідносить такт стиснення циліндра з упорскуванням палива в нього.

За даними методами фактично вимірюють загальну нещільність надпоршневого простору, що складається з нещільності прокладки головки циліндрів і клапанів газорозподілу, а також нещільності, обумовленої зносом деталей циліндропоршневої групи.

За опитуваннями великих підприємств, які обслуговують і ремонтують великий парк машин, щодо технічного стану двигуна фахівці вкрай рідко використовують методи визначення герметичності камери згоряння, у зв'язку з великою кількістю робіт при діагностуванні. У процесі визначення залишкового ресурсу двигуна, що експлуатується при оцінці необхідності проведення капітального ремонту та припрацювання відремонтованого двигуна, враховується технічний стан ЦПГ в цілому, а не окремих його циліндрів.

Підсумовуючи, можна стверджувати, що способи визначення технічного стану циліндропоршневої групи з компресії, падіння тиску, розрядження в надпоршневому просторі широко поширені в рядовій експлуатації, проте безліч недоліків цих способів (див. вище) не дають достатньо точної оцінки стану ЦПГ, а висока трудомісткість діагностування іншими методами не робить їх

перспективними для розвитку під час експрес-діагностування.

1.2.2 Концентрація продуктів зносу в мастилі, що експлуатується.

Технічний стан деталей двигунів можна оцінювати з аналізу продуктів зносу в маслі [17, 18, 39, 55, 81, 84, 86, 88, 93, 126, 138]. Дослідженнями [81] встановлено, що при тривалій роботі мастила у двигуні, постійної інтенсивності очищення та постійному витраті концентрація продуктів зносу в мастилі стабілізується та встановлюється на певному рівні, характерному для даних умов експлуатації та конструктивних особливостей двигуна. Значне підвищення концентрації того чи іншого елемента в мастилі свідчить про інтенсивне зношування деталей, котрим цей елемент є характерним. Наприклад, по концентрації алюмінію можна судити про зношування поршнів, за наявності хрому - про зношування хромованих поршневих кілець і т.д. На рисунку 1.6 представлений спектрометр МФС-7, що дозволяє проводити аналіз мастила у лабораторних умовах.



Рисунок 1.6 – Багатоканальний емісійний спектрометр МФС-7 для аналізу мастил.

Автоматизований спектрометр МФС-7 призначений для емісійного спектрального аналізу мастил на продукти зношування деталей двигунів у процесі їх експлуатації. Спектрометр застосовується для діагностування стану двигунів, тепловозів, екскаваторів, тракторів, автомобілів, верстатів. Процес аналізу автоматизований - з моменту встановлення проби до штатива до отримання результатів аналізу в одиницях концентрації на екрані дисплея.

Для еностерження за процесом зношування двигуна раніше широко застосовували так званий спосіб заліза в маслі [81]. За цим способом концентрацію заліза в маслі визначають калориметричними абсолютними методами з попереднім озеленням проб. Однак за вмістом заліза в маслі можна оцінити лише сумарне зношування всіх сталевих і чавунних деталей і дуже важко простежити за процесом зношування окремих деталей, наприклад, циліндропоршневої групи.

Для цілей діагностування може бути придатний спектральний аналіз олії, за допомогою якого можна визначити вміст багатьох металевих та неметалічних елементів, що надходять у олію при зношуванні ГПП двигуна. Спектральний

аналіз заснований на визначенні хімічного складу речовини за спектром, що випромінюється його атомами. Основними перевагами методу є висока чутливість, швидкість аналізу, можливість обмежуватися надзвичайно малими кількостями речовини щодо аналізу [93]. Однак методи оцінки технічного стану, засновані на вимірюванні вмісту продуктів зносу у маслі, досить ефективні лише при виявленні аварійних зносів, а також при визначенні технічного стану тієї групи деталей, для яких характерний різкий вигин кривої зносу при настанні граничних станів зношеності і які містять характерні елементи. До визначення технічного стану циліндропоршневої групи цими методами треба підходити з відомою обережністю, оскільки граничне зниження здатності ущільнювати з'єднання гільза - кільця - поршень може настати до появи різких змін інтенсивності зношування окремих деталей.

Дослідження [135] щодо накопичення оксикислот в маслі, показують, що старіння олії перебувати в такій же залежності від зношеності двигуна, як і витрата олії.

Таблиця 1.2 - Залежність витрати масла та вміст в олії оксикислот від зношеності двигуна

| № випробувань | Стан двигуна | Витрата олії | | Вміст оксикислот в маслі, % |
|---------------|----------------|--------------|-------------------------|-----------------------------|
| | | у г/год | у % до витрати пального | |
| 1 | Малозношений | 45 | 0,6 | 0,22 |
| 2 | Сильнозношений | 330 | 4,0 | 1,46 |

Аналіз проб мастила, що відбиралися під час випробувань, показали, що органічна частина домішок в маслі становить при роботі мало зношеного двигуна 97...98% від їх кількості. При випробуваннях зношеного двигуна вміст домішок, що згорялися, становило 80...90%, а негорючих 10...20%. А збільшення неорганічних домішок у маслі, за тими ж дослідженнями [135], призводить до підвищеного зносу як деталей циліндропоршневої групи, а й двигуна загалом.

Методи, засновані на спектральному аналізі продуктів зносу в маслі, визначення технічного стану вітчизняної техніки не отримали широкого застосування сільському господарстві України, оскільки дуже дорогі і вимагають досвідчених фахівців цієї галузі. Дані методи виправдані використання при діагностуванні великої дорогої техніки (гірничодобувна, будівельна), але з

сільськогосподарської.

1.2.3 Витрата мастила на чад

Практично всі автори, що описують способи діагностування автотракторних двигунів, приділяють увагу витраті масла на чад [4, 7, 15, 28, 31, 34, 35, 94, 98, 99, 108, 121, 124, 133, 134, 137].

Зношування деталей ЦПГ призводить, перш за все, до зниження ущільнювочної здатності кільцевого ущільнення, яке поступово перестає виконувати свою функцію щодо забезпечення герметичності надпоршневого простору. При цьому граничний стан зношеності ЦПГ не обмежується можливістю аварій, він також призводить до погіршення техніко-економічних показників всього двигуна [28].

Основні причини підвищеної витрати мастила [4, 34]:

1 Зовнішній витік масла через сальники, прокладки, ущільнювачі.
2 Неякісне приєднання фланця патрубка відсмоктування картерних газів до корпусу повітряного фільтра (попадання масла у повітряний фільтр) у двигунах з рециркуляцією картерних газів.

3 Абразивне знос циліндрів, поршневих кілець, поршнів, що направляють втулок.

4 Зношування поршневих кілець (без зносу циліндрів), завищений тепловий зазор кілець, збіг замків кілець в лінію, неприлягання кілець до "дзеркала" циліндрів, великий зазор до висоти кілець в канавках поршнів.

5 Задираки, ризики, натири та інші дефекти на "дзеркалі" циліндрів.

Витрата мастила є одним з основних параметрів технічного стану циліндропоршневої групи. Цей параметр значно впливає на економічні показники роботи двигуна і, крім того, має досить тісний зв'язок зі зносом деталей циліндропоршневої групи. Однак чад масла протягом тривалого часу роботи двигуна змінюється незначно і лише при досягненні граничних станів зношеності циліндропоршневої групи починає різко зростати. Такий характер протікання кривої витрати масла на чад залежно від напрацювання ускладнює прогнозування щодо нього залишкового ресурсу (рисунок 1.7 [37]). Слід також відзначити, що вимірювання витрати масла, що проникає через кільцеве ущільнення в камеру згоряння, є дуже складним технічним завданням.

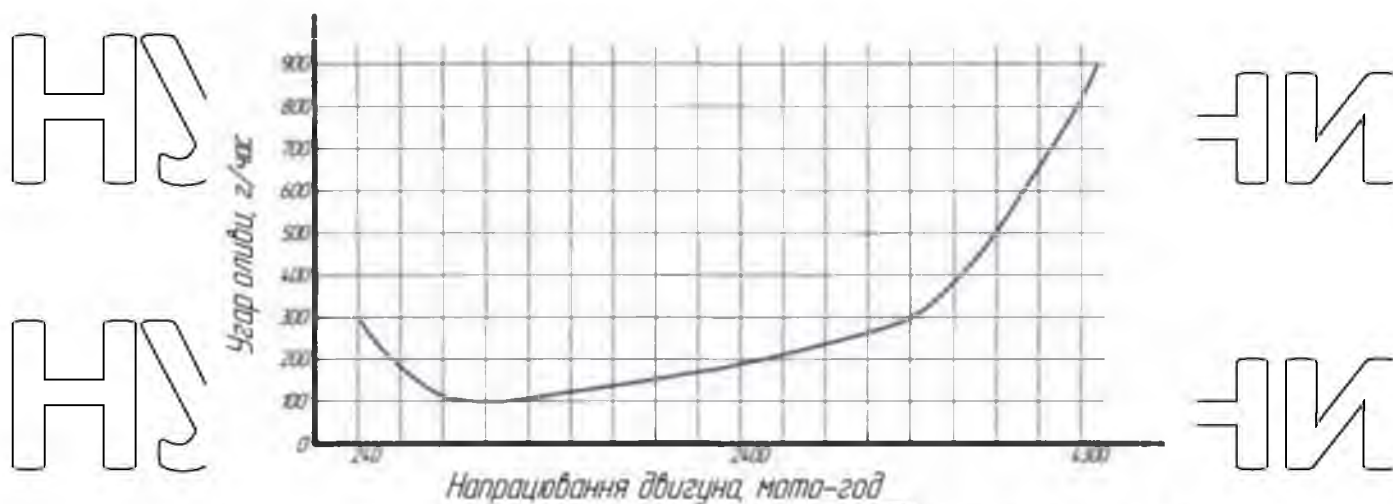


Рисунок 1.7 – Витрата дизельного масла на чад.

В умовах рядової експлуатації про чад мастила судять за загальною витратою його, взятою у відсотках до витрати пального за певний час роботи двигуна. У сучасних двигунах вважається нормальним витрата масла близько 0,1-0,3% від витрат палива. Для великих дизелів цей параметр значно більший - від 0,8 до 3,0%. Найчастіше для одного і того ж типу мотора, але має різне призначення, паспортна витрата масла на чад може істотно відрізнитися. Так, для дизеля звичайного транспортного використання він може становити 1,8% тоді як для використання під постійними навантаженнями - 2,5% [133].

Для визначення чаду ведуть облік масла, що доливається в картер, палива, що витрачається двигуном, за кілька змін. Однак таке визначення чаду олії все ж таки є орієнтовним, так як при цьому не враховуються можливі витікання через нещільності, а також коливання витрати масла, пов'язані зі змінами швидкісного, навантажувального та теплового режимів роботи двигуна під час контрольних змін. Угар масла дає лише загальне уявлення про зношеність всієї циліндропоршневої групи двигуна. Розроблено методи вимірювання миттєвого значення витрати олії на чад за допомогою ртутних та натрієвих індикаторів (спектральний аналіз) [55]. Ці методи засновані на використанні здатності пар металів, що знаходяться в атмосферному стані, поглинати світлове випромінювання певної для даної речовини довжини хвилі. Кут масла при цьому визначають за інтенсивністю поглинання відповідного випромінювання парами препарату - індикатора, попередньо внесеного в мастило. Як такі препарати - індикатори використовують дифенілртуть або натрій, які мають хорошу розчинність в маслі і здатність миттєво і повністю випаровуватися при високих температурах в камері згорання.

Для вимірювання миттєвого значення чаду масла в дослідженнях застосовують також радіоактивні ізотопи [64], які вводять в картерне масло і

потім ресструють їх вміст у пробах вихлопних газів за інтенсивністю випромінювання.

Розроблено метод [31] прискореної витрати масла шляхом обробки проб повітря, що відбираються з циліндра при вимкненій подачі палива. Проби повітря, що містять продукти часткового розкладання та випаровування мастила, обробляють водою, в результаті чого отримують стійкі водомасляні емульсії.

Витрата мастила визначають за оптичною щільністю емульсії за допомогою фотоелектричного калориметра.

Описані методи вимірювання миттєвої витрати масла на чад хоч і відображають технічний стан циліндропоршневої групи, відрізняються великою трудомісткістю, невисокою точністю, або вимагають складної та дорогої апаратури і застосовні тільки при експериментальних дослідженнях.

1.2.4 Віброакустичні параметри

Вважається, що досвідчені механіки зміють виявити несправності багатьох вузлів на слух за тоном і силою стукотів і шумів двигуна, що працює. Діагностування особливо ефективно за дотримання певної послідовності прослуховування та застосування найпростіших стетоскопів (механічних та електронних) (рисунок 1.8). Однак вслуховування є дуже суб'єктивним методом, що багато в чому залежить від досвіду та кваліфікації оператора. Більш менш достовірно цим методом можна виявити лише наявність аварійних зносів, наприклад, поломок поршневих кілець.



Рисунок 1.8 - Електронний автостетоскоп KI-28154.

Разом з тим застосування електронних приладів більш глибокого і повного аналізу віброакустичних сигналів дозволяє отримати цілком достовірні відомості про технічний стан окремих вузлів двигуна і, зокрема, циліндропоршневої групи. Для цілей віброакустичної діагностики можуть бути використані пружинні коливання від ударів сполучених деталей, що виникають під дією змінних навантажень за наявності зазорів у з'єднаннях (рисунок 1.9).

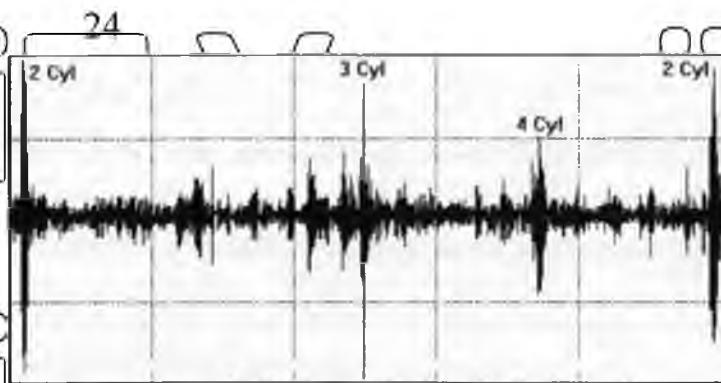
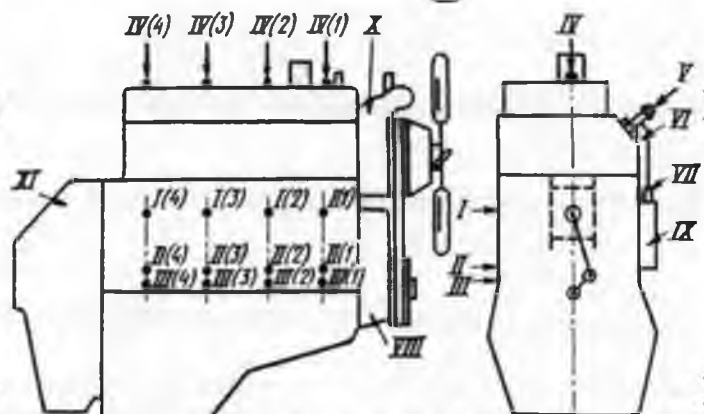


Рисунок 1.9 - Сигнал вібрації двигуна на осцилографі, вимряний у точці між 2-та 3 циліндрами.

Основні труднощі полягають у виділенні корисного сигналу, що характеризує технічний стан вузла, що цікавить нас, зі складного сигналу, що виходить в результаті накладання один на одного багатьох сигналів від різних вузлів систем працюючого двигуна [5]. Однак таке виділення можливе, оскільки сигнали, що идуть від окремих вузлів, мають певні частотні, амплітудні та часові характеристики, властиві тільки даному вузлу та його вібропровідному каналу. При діагностуванні циліндропоршневої групи з віброакустичних параметрів велике значення має правильне встановлення датчика. Датчик необхідно встановлювати в такі зони блоку, які забезпечували б отримання максимальної інформації від вузла, що перевіряється при мінімальному вплив перешкод від інших з'єднань і механізмів двигуна [11].



I - циліндропоршневої групи I (1) - першого циліндра; I (2) - другого т.д.; II - шатунних підшипників; III - корінних підшипників; IV - газорозподільного механізму; V, VI, VII, IX - паливної апаратури; VIII - розподільних шестерень; X - насос системи охолодження; XI - муфти зчеплення

Рисунок 1.10 - Місця встановлення датчиків при віброакустичному діагностуванні двигуна [14]

Для виділення корисної складової складного сигналу, що сприймається датчиком, застосовують частотну фільтрацію (спектральний аналіз), тимчасову селекцію шляхом стробування, а також використовують статичні характеристики сигналу: функцію кореляційної, енергетичний спектр і закон розподілу амплітудних значень. Експериментально було визначено найбільш характерні для діагностування ЦПГ спектри вібрацій [106]. Так, у поєднанні гільза - поршень найбільш характерний спектр вібрацій, що генеруються зазорами в з'єднанні, виявляється в діапазоні частот 2...4 кГц, поршневіх кілець - 10...16кГц.

Можливість визначення стану циліндрпоршневої групи за віброакустичними параметрами впливає з аналізу роботи цього вузла. Насправді, на поршень в осьовому напрямку діє сумарна сила, що складається з сил тиску газів, інерції та тертя поршня про гільзу. Під дією нормальної складової сили поршень переміщається від однієї стінки гільзи до іншої. На початку ходу розширення переміщення поршня супроводжується ударом його про гільзу, внаслідок чого виникає ударний імпульс, який може бути зареєстрований за допомогою датчиків на стінці блоку. Основними параметрами, що несуть інформацію про зазор між поршнем і гільзою, є кут повороту колінчастого валу від ВМГ до моменту удару поршня про гільзу або час, що відповідає цьому куту повороту, амплітуда ударного імпульсу (рисунк 1.11), а також інтенсивність та енергія вібрації смузі частот [116].

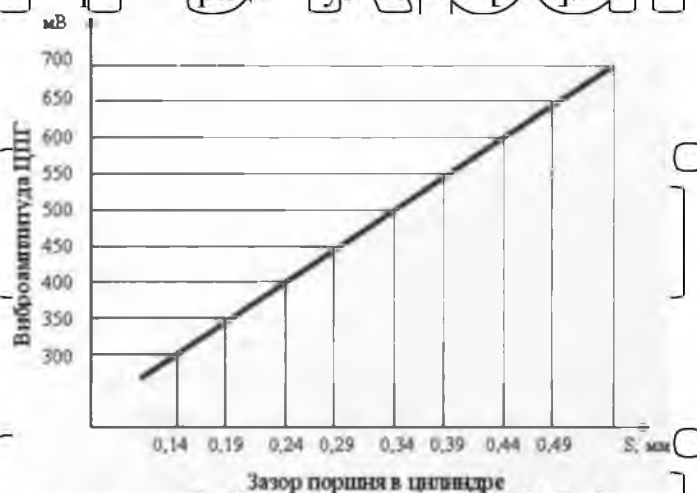


Рисунок 1.11 - Залежність віброамплітуди ЦПГ від величини зазору поршня в циліндрі.

Однак про технічний стан всієї циліндрпоршневої групи не завжди можна судити за значенням одного зазору між поршнем і гільзою. Такі часто зустрічаються при експлуатації двигунів несправності, як закоксовування, залягання і знос поршневих кілець не можна визначити за віброакустичними сигналами з достовірною для практичних цілей точністю [34]. Віброакустичні

методи, мабуть, досить ефективні лише за умови використання їх у комплексі з іншими методами діагностики стану ЦПГ. Тому складні прилади (вібродіагностики) найчастіше застосовуються для досліджень при розробці та проектуванні двигунів.

1.2.5 Температурні параметри

Найбільш комплексними для діагностики ЦПГ служать температурні параметри [58,91,93]: температура відпрацьованих газів $T_{\text{вих}}$ (що вимірюється у вихлопній трубі), і температура газів $T_{\text{цил}}$ за циліндрами, що вимірюється в патрубках випускного колектора двигуна. Перший параметр є інтегруючим у всьому двигуні, а другий - диференційованим по окремих циліндрах. Як діагностичний параметр можуть використовуватися як середні значення $T_{\text{вих}}$ або $T_{\text{цил}}$, так і миттєві. Неприпустимі значення $T_{\text{цил}}$ можуть бути пов'язані зі збільшенням витoku свіжого заряду в картер через ЦПГ. При працездатній паливній системі вихід параметра $T_{\text{цил}}$ за межі, що допускаються, свідчить про несправність або відмови або ЦПГ, або клапанного механізму конкретного циліндра.

Іншим температурним параметром є температура гільзи циліндра $T_{\text{г}}$, яка характеризує технічний стан з'єднання «поршень - кільце - гільза» [67, 93, 129].

Причинами підвищення температури гільзи циліндра $T_{\text{г}}$ можуть бути прорив гарячих газів через поршневі кільця та гільзу внаслідок зношування, завісаєння та поломки кілець. Внаслідок високих температур, наприклад, у верхній частині гільзи, відбувається вигорання масляної плівки, що веде, у свою чергу, до задирки та прискореного зношування гільзи та кілець.

Для підвищення інформативності параметра $T_{\text{г}}$ на думку дослідників [67], переважні вимірювання у верхній частині гільзи між першим і другим поршневими кільцями при проходженні поршня в ВМТ. Крім того, щоб отримати достовірні дані щодо стану ЦПГ, необхідно виключити або врахувати вплив навантаження, зовнішніх умов. [93] розглянуто метод оцінки стану деталей циліндропоршневої групи з відхилення температури $T_{\text{г}}$ вище деякого заданого значення. Як діагностичний параметр використовується відношення $\frac{T_{\text{г}} - T_{\text{н}}}{T_{\text{н}}}$, де $T_{\text{н}}$ - загальна тривалість всіх перевищень температури над обраним дослідним шляхом допустимим рівнем за весь час спостереження - $T_{\text{сп}}$. Граничне значення цього відношення, як і граничну температуру, прийняту за рівень порівняння, слід вибирати кожного двигуна окремо з урахуванням досвіду. У випадку, коли контроль температури стінки гільз $T_{\text{г}}$ скрутний через складність установки датчиків у верхній частині циліндра або неприпустимість свердління гільзи, за допомогою малоінерційних термопар здійснюють контроль температури масла, що стікає по стінках гільз циліндрів.

Миттєва температура поршневих кілець. Одним із способів контролю

поршневих кілець та гільз циліндрів є також вимірювання миттєвої температури поршневих кілець. Цей спосіб дозволяє виявляти лише один вид несправності - задирання гільзи [67, 93]. Вже на ранній стадії поява ділянок із сухим тертям супроводжується локальним збільшенням температури. Для виявлення таких ділянок розроблено поверхневу термопару [67]. Внаслідок дуже нетривалого контакту кільця з гарячим шаром термопару отримати справжнє значення температури кільця неможливо, але піковий сигнал, що виробляється термопарою, відображає основний стан кільця. Термопару встановлюють у наскрізний отвір гільзи врівень з її поверхнею (по 2...4 штуки на кожному циліндрі). Гарячий спай термопару утворюється в результаті наволокання поршневими кільцями одного металу на інший, завдяки чому в міру зношування гільзи відбувається поступове відновлення гарячого спаю.

Стан ЦПД оцінюють і за температурою поршня, особливо часто за його днища [54]. Для цього в днищі поршня встановлюють термопару зі спеціальним пристроєм для знімання сигналу та передачі його на потенціометр. Температура поршня характеризує в основному середню та максимальну температуру процесу в камері згоряння.

Є велика кількість робіт з дослідження теплонапруженості поршнів, проте способи вимірювання температури в них не задовольняють вимоги діагностування двигуна в експлуатаційних умовах.

У роботі [93] наведено короткий опис інфрачервоного пристрою для дослідження теплонадійності поршнів двигунів КамАЗ. Пристрій дозволяє реєструвати теплове випромінювання бічної поверхні поршня приблизно в 30 точках за будь-яких режимів роботи двигуна. Такий пристрій може бути використаний тільки в дослідницьких роботах.

Описані методи вимірювання температури стінки гільз, миттєвої температури поршневих кілець та температури поверхні поршня у практиці діагностування автотракторних дизелів вкрай нетехнологічні, чому й не набули широкого застосування. Поява широкого спектра новітніх тепловізорів, у зв'язку з їхньою дорожеченою, а також особливостями конструктивних виконань двигунів, не дає можливості їх застосування для діагностування ЦПД двигуна.

1.2.6 Час пуску та потужність двигуна

Ряд авторів вказує, що оцінювати стан ЦПД можливо за виміром номінальної потужності двигуна [99, 110, 135]. Однак, якщо за даними одних авторів, невелике зниження потужності у зношених дизельних двигунів (близько 4-7%) на номінальних швидкісних режимах обумовлено падінням тиску в кінці стиснення [143], то інші автори [135] експериментально доводять, що зі зносом ЦПД до ремонтного значення номінальна потужність двигуна зростає на 1...3%, але значно (15...30%) падає ККД двигуна, через зростаючу кількість питомої

витрати палива. Також зазначається, що за значенням потужності можна судити головним чином про наявність несправностей у системі паливотопачі та зорегульованості газорозподільного механізму. Зміна потужності зумовлена витоком газів з робочої порожнини циліндра в картер, несуттєво порівняно з її зміною, пов'язаною з порушенням регулювань паливної апаратури, тому використання цього показника для перевірки зношеності циліндропоршневої групи не може бути рекомендовано.

Приладом для вимірювання потужності двигуна є ІМД-ЦМ (вимірювач потужності двигуна цифровий, модернізований) (рисунк 1.12). На тому ж принципі засновані й численні мотор-тестери, що набули найширшого поширення в діагностиці. Найпоширенішим мотор-тестером вітчизняного виробництва М 3-2.



Рисунок 1.12 - ІМД-ЦМ.

З допомогою ІМД-ЦМ вимірюють ефективну потужність, та був додатковими методами визначають вплив кожного з чинників, які впливають на потужність. Відношення вимірної потужності при послідовному відключенні одного циліндра до загальної потужності двигуна визначає знос відключеної циліндропоршневої групи. Даний метод визначення технічного стану двигуна отримав широке практичне застосування у зв'язку з простотою, хоча йому притаманна велика похибка та мала інформативність [22, 29, 40, 49].

Одним із параметрів, що характеризують технічний стан циліндропоршневої групи, є тривалість пуску холодного двигуна, тобто час, що відраховується від початку прокручування до початку розгону двигуна (припинення пропуску спалахів по циліндрах). Пуск зношених дизельних двигунів здійснюється у 7-8 разів повільніше, ніж пуск малозношених [13]. Причиною цього є збільшення витоків повітря з камери згоряння, що призводить до зниження тиску та температури заряду повітря в кінці ходу стиснення, а отже, до погіршення умов, необхідних для займання паливоповітряної суміші.

Однак використання тривалості пуску холодного двигуна в діагностичних цілях утруднено, так як на зазначений параметр істотно впливають також стан пускового пристрою (наприклад, ступінь розрядки акумуляторів), температура і

в'язкість масла в момент пуску, які можуть змінювати потужність, необхідну для прокручування двигуна в дуже широкій межі га ін.

1.2.7 Прорив газів у картер двигуна

До основних параметрів технічного стану циліндропоршневої групи більшість дослідників [7, 28, 33, 36, 48, 66, 80, 99, ПЗ, 114] відносять поряд з чадом масла також прорив газів через кільцеве ущільнення в картер двигуна. У міру зношування двигуна прорив газів в картер збільшується, так як зношування циліндрів, поршневих канавок і компресійних кілець, зміна геометричної форми цих деталей і порушення правильного їх контакту в результаті нерівномірного зносу, зниження пружності кілець, збільшення їх рухливості через підвищені зазори з сполучними деталями призводять до порушення герметичності камери згоряння. При настанні граничного зносового стану циліндропоршневої групи значення витрат газів, що прориваються в картер, у 3-5 разів більше в відповідного значення нового двигуна. Зміна прориву газів у картер залежно від часу експлуатації тракторних двигунів представлена на рисунку 1.13 [2].

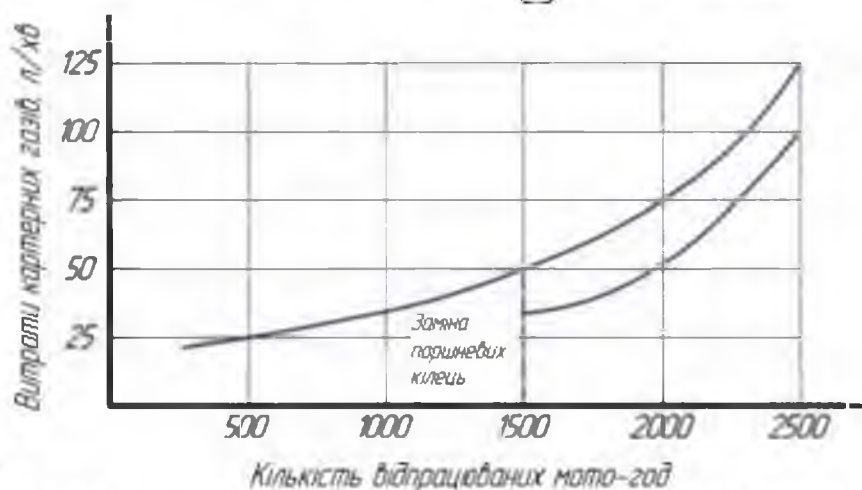


Рисунок 1.13 - Збільшення прориву картерних газів дизельних двигунів залежно від напрацювання.

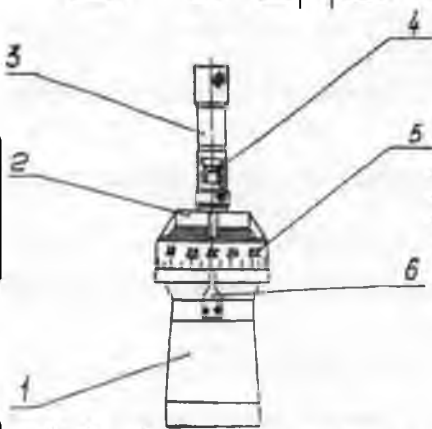
В умовах експлуатації збільшення прориву картерних газів може бути викликане не тільки зношуванням деталей циліндропоршневої групи. Закоксованість деталей відкладеннями і особливо залягання кілець призводять до різкого погіршення їх ущільнюючого впливу і збільшення витрати картерних газів. Тому по картерних газах правильно оцінювати не знос циліндропоршневої групи, а її загальний технічний стан.

Підвищений прорив картерних газів небезпечний не сам по собі, а внаслідок зміни непрямих показників, зміна яких призводить до погіршення роботи двигунів та прискорення процесу зношування пару деталей. Разом про те незрозумілий характер зміни непрямих показників для дизельних двигунів,

оскільки у літературі містяться дані досліджень, отримані на карбюраторних двигунах.

Раніше було розроблено ряд непрямих методів визначення кількості газів, що прориваються через кільцеве ущільнення в картері, без безпосереднього вимірювання витрати [36, ПЗ]. Наприклад, за кордоном запропоновано метод визначення несправностей циліндропоршневої групи з ультразвукової енергії газів, що прориваються через кільцеве ущільнення в картері. Для цієї мети застосовують спеціальні аналізатори, в яких ультразвукові коливання, створювані газами, що прориваються в картері, сприймаються мікрофоном, потім перетворюються в електричний сигнал, посилюються і відображаються на екрані осцилографа. Однак описаний метод застосовується лише для виявлення порівняно грубих дефектів, таких як залягання і поломки поршневих кілець, задира циліндрів і т.п. Прорив газу в картері, зумовлений природними зношуваннями деталей циліндропоршневої групи, на зазначених осцилограмах не виявляється.

Безпосередній і найпоширеніший принцип визначення технічного стану ЦПГ по прориву газів у картері ДВС, полягає в сумарному вимірі сигналізатором прориваються в картері ОГ через щілину пристрою при фіксованому тиску ОГ в картері [11]. ДЕРЖСННГІ були розроблені та поставлені на виробництво індикатори витрати картерних газів КІ-4887, КІ-13671, КІ-17999 ДЕРЖСННГІ. Зазначені пристрої (КІ-13671 та КІ-17999) для вимірювання прориву газів у картері ДВС за своїм принципом роботи однакові. Вимірювання прориву газів у картері ДВС відбувається за зміни площі перерізу заслінки. Зміну площі щілини роблять, спостерігаючи за положенням сигналізатора тиску. При цьому поршень-поплавець сигналізатора при вимірюванні прориву ОГ в картері ДВС повинен зайняти зазначене положення, за яким судять про величину тиску газів у картері ДВС (рисунк 1.14).



1 - корпус; 2 - кришка; 3 - сигналізатор; 4 - поплавець; 5 - шкала; 6 - показчик.

Рисунок 1.14 - Індикатор витрати картерних газів КІ-17999М.

У момент прориву ОГ в картер ДВЗ доводиться змінювати переріз і встановлювати сигналізатор задане положення по мітці. У пристрої немає виска рівня, що показує строго вертикальне положення пристрою. Тому при відхиленні пристрою від вертикального положення збільшується тертя між торцем сигналізатора і внутрішньою стінкою трубки, за рахунок чого зростає похибка вимірювання.

На думку деяких авторів [33, 36, 46, 127], ступінь зношування циліндропоршневої групи двигуна можна контролювати за тиском газів у картері. Тиск газів у картері обумовлено проривом газів у картер двигуна та наявністю на шляху їхнього виходу дросельного опору (сапуна). Зі зростанням прориву газів опір їх виходу зростає, і тиск при цьому, природно, збільшується. Зміна тиску газів у картері є непрямим показником технічної справності ЦПГ, і може бути безпосередньою причиною необхідності ремонту двигуна - збільшення тиску призведе до видавлювання масла з картера через прокладки та сальники. Правда це більшою мірою притаманне автомобільним двигунам із дрібним картерним обсягом та вищими числами оборотів, ніж у дизельних двигунів.

На рисунку 1.15 представлений графік залежності тиску газів у картері дизельного двигуна від витрати, з якого випливає, що зміна тиску зростає зі збільшенням витрат картерних газів [46].

Контролювання технічного стану циліндропоршневої групи щодо зміни тиску газів у порожнині картера становить інтерес з погляду простоти вимірювань. Тиск газів можна вимірювати безперервно за умов рядової експлуатації.

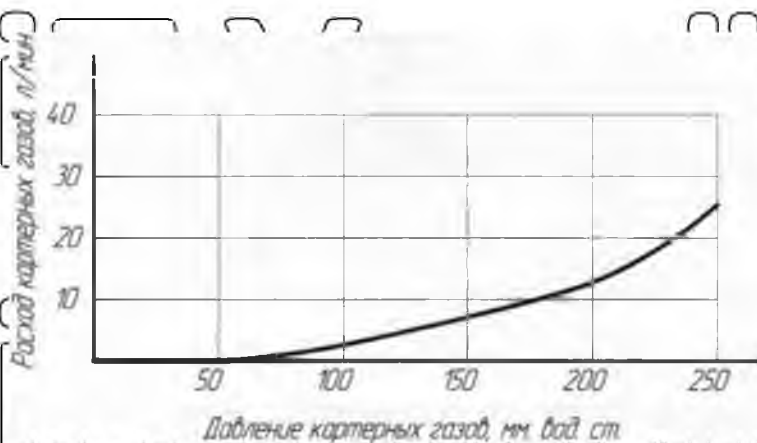
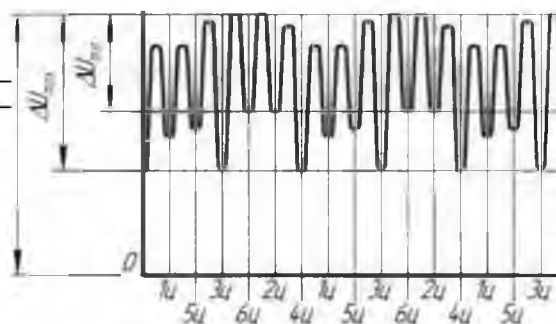
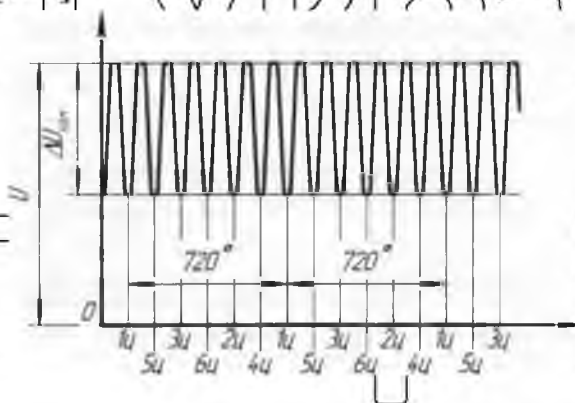


Рисунок 1.15 - Залежність тиску та витрати картерних газів.

До недоліків способу оцінки тиску картерних газів можна віднести те, що часто причиною різкого підвищення тиску в картері є забруднення масляними відкладами набивання сапуна, через який здійснюється природна вентиляція картера, а не збільшений прорив газів в картер. Як показали дослідні, абсолютні значення вимірюваних тисків у картері двигунів невеликі, тому похибки вимірів

можуть виявитися значними.

Для діагностування циліндропоршневої групи за параметром тиску газів в маслозаливній горловині встановлюється датчик пульсації тиску, сигнал якого виведений на осцилограф (рисунок 1.16 [127]). Характер пульсації тиску газів у картері має синусоїдальну форму. Амплітуда тиску зі збільшенням нещільності у циліндрі зростає. Таким чином, оцінку технічного стану ЦПГ можна здійснювати за з'ясуванням амплітуди або площі імпульсу, що виробляється відповідним циліндром [127].



а - осцилограма пульсації тиску картерних газів справного двигуна на колістому ході; б - імпульси тиску циліндрів на осцилограмі тиску картерних газів різні, що свідчить про несправність

Рисунок 1.16 - Осцилограми пульсації тиску газів у картері двигуна.

Діагностування циліндропоршневої групи з витрат картерних газів має ряд недоліків, основним з яких є висока похибка вимірювань, зумовлена своєю чергою рядом факторів: не враховується підірний тиск, що створюється засобами виміру; температура газів, що прориваються, які змінюють обсяг залежно від її зміни; не береться до уваги потужний режим двигуна при вимірі. Тому прилади, розроблені визначення технічного стану ЦПГ за параметрами картерних газів, ставляться до класу індикаторів, що передбачає високу похибку вимірювань.

При вивченні літератури виявлено, що не досліджено законсмірності зміни параметрів картерних газів від робочих параметрів дизельного двигуна (температура, рівномірність обертання колінчастого валу, навантаження).

Найвизначальніший у літературі матеріал не дає чіткого уявлення про допустимі та граничні величини витрати картерних газів як діагностичного показника, не вказується, за якими критеріями була проведена оцінка даного параметра. Однак, робота з визначення нормативних значень параметрів складне завдання, що вимагає спеціального дослідження, і тому в цій роботі неможливо її виконання.

З усіх розглянутих способів оцінки ЦПГ найбільш простим та зручним з точки зору застосування залишається витрата картерних газів. Даний спосіб не вимагає розбирання елементів двигуна, не трудомісткий - час, що витрачається на проведення діагностування, не перевищує 20 хвилин, досить технологічний - не вимагає спеціальних умов проведення діагностування. Одним із суттєвих недоліків даного способу є його похибка. У цій роботі ми досліджуємо чинники, що впливають високу похибку методу, і опишемо шляхи її зниження.

1.3 Система вентиляції картера

При діагностуванні дизельного двигуна з витрат або тиску картерних газів необхідно приділяти увагу системі вентиляції картера, так як несправності цієї системи також позначаються на параметрах газів. Тип системи впливає на методологію проведення діагностування, тому розібратися з типами систем вентиляції картера при діагностуванні параметрів картерних газів необхідно.

Вентиляція картерного простору двигуна внутрішнього згоряння - це процес видалення газів, що прориваються в картер надпоршневого простору через кільцеве ущільнення.

Система вентиляції картера служить для видалення з картера двигуна газів, які у нього під час роботи двигуна через зазори в сполученнях. Видалення картерних газів необхідне забезпечення нормального тиску в картері двигуна і зниження шкідливого впливу цих газів на властивості моторного маєла. В основному картерні гази є сумішшю продуктів згоряння палива, парів палива і парів води, що виходять в результаті згоряння палива. Водяні пари призводять до утворення емульсії і піни в маслі, що ускладнює доступ масла до поверхонь, що труться, і таким чином знижує мастильні властивості масла. Пари палива розріджують масло, що також погіршує його мастильні властивості. Внаслідок впливу інших компонентів картерних газів у маслі утворюються також кислоти, опади та інші домішки, що знижують стійкість конструктивних елементів двигуна до старіння [137].

Існує кваліфікація систем вентиляції картера: відкрита та закрита, природна та примусова [139].

Природна вентиляція картерного простору або аерація відбувається за рахунок деякого надлишкового тиску газів у картері, що виникає внаслідок постійного надходження газів з надпоршневого простору.

Примусова вентиляція здійснюється за рахунок створення тим чи іншим

способом розряджання на виході газів з картерного простору

Відкрита система вентиляції передбачає вільний вихід або примусове видалення газів в атмосферу.

Закрита система вентиляції запобігає попаданню картерних газів в атмосферу та забезпечує, як правило, їх видалення у впускний тракт з подальшим допалюванням у циліндрах двигуна.

Основні вимоги до систем вентиляції картера:

- Забезпечення повного видалення картерних газів;
- Підтримка незначного підвищеного тиску в картерному просторі, близького до атмосферного, оскільки великий тиск призводить до видавлювання масла, а низький - до потрапляння (всмоктування) зовнішнього повітря, забрудненого пилом;

- Підтримувати фізико-хімічні властивості картерної олії.

Система закритої вентиляції картера двигуна

Оскільки при використанні відкритої системи відбувається забруднення навколишнього середовища шкідливими домішками, двигуни все частіше використовують закриту систему вентиляції картера. Система закритої вентиляції картера двигуна встановлюється на всіх моделях двигунів, які відповідають екологічному стандарту Євро-3. Система призначена для повернення паливоповітряної суміші, що пройшла в картер двигуна через зазори циліндропоршневої групи, у впускний колектор, звідки вони разом з повітрям, що надходить, проходять в камеру згорання [139]. Таким чином система сприяє зниженню концентрації шкідливих домішок, що потрапляють в атмосферу.

Система повністю замкнута, картерні гази проходять у впускний колектор через клапан примусової вентиляції зі змінним прохідним перетином. Розмір потоку картерних газів регулюється клапаном залежно від рівня вакууму у впускному колекторі. При достатньому ступені відкриття дросельної заслінки клапан примусової вентиляції відкривається настільки, що пропускає максимальний потік газів. При роботі двигуна в режимі холостого ходу клапан прикривається, обмежуючи потік картерних газів, що надходять у впускний колектор [140].

Система працює нормально за повної герметичності двигуна. Будь-який витік по криниці клапанного механізму, прокладання головки блоку циліндрів, пробці заливного отвору масла картера двигуна, впускного повітряного каналу або шлангів системи призводить до збою в роботі системи.

Робота системи вентиляції картера заснована на використанні розрядження, що виникає у колекторі впускного двигуна. Через розрядження гази виводяться з картера. У маслоотделителі картерні вони очищаються від масла, після чого патрубками направляються у впускний колектор, де

змішуються з повітрям і спалюються в камерах згоряння [139]. У двигунах із турбонаддувом здійснюється дросельне регулювання вентиляції картера.

На різних режимах роботи двигуна співвідношення ступеня проникнення робочих газів в картер і здатності впускного тракту, що відводить, змінюється. Щоб зробити відсмоктування газів більш-менш відповідним їх реальній кількості, роблять деякі конструктивні хитрощі і різні канали для відсмоктування на малих і великих оборотах, регулювання ступеня відсмоктування та ін. що викликає розрядження в картері на підвищених оборотах. У міру зношування поршневої групи тиск поступово збільшується. Також впливає на це і забруднення масловіддільвача.

Під час експлуатації двигуна відбувається падіння продуктивності системи вентиляції через закоксування та забруднення пакетів сіток масловідокремлювачів, тому при кожному ремонті рекомендується розібрати масловідокремлювачі для промивання сіток [139].

Система вентиляції картерних газів може не справлятися зі своїм завданням у трьох (як мінімум) випадках:

- масловідокремлювач та патрубки забиті відкладеннями;
- несправний перепускний клапан;

- кількість картерних газів дуже велика через зношеність деталей двигуна (циліндропоршневої групи).

У всіх випадках тією чи іншою мірою відбувається підвищення тиску в порожнині двигуна і збільшується винесення масла з картера. Істотне підвищення тиску призводить, як зазначалося, до видавлювання масла через ущільнення (сальники, прокладки).

Закупорка каналів або шлангів системи призводить до підвищення тиску картерних газів, що збільшує ступінь відкладення масла на елементах газорозподільного механізму, витік масла і навіть повну відмову в роботі двигуна.

Якщо є винос масла у впускний тракт (підвищений), то неминуче має бути сизий дим з вихлопної труби. Інше питання – у яких кількостях і на яких режимах двигуна це відбувається. Щоб це побачити, потрібно спостерігати за вихлопними газами при різних режимах роботи двигуна – при слабкому натисканні на газ, при натисканні, примусовому холостому ході. А ще, якщо є винос (підвищений) масла, присутність цього масла зазвичай помітна у впускному тракті. Щоб побачити це масло, достатньо відкрити кришку повітряного фільтра, і оглянути впускний колектор [141].

Робота двигуна з несправним клапаном (залишним) або із забитими шлангами неприпустима, оскільки призводить до підвищення тиску картерних газів у картері, витіку масла та посилення відкладення масла на елементах

двигуна, можлива навіть зупинка двигуна.

Відкрита система вентиляції картерних газів

При відкритій системі вентиляції на двигун встановлюється ежекційна трубка, поєднана з порожниною картера. Працюючи двигуна газів, проходячи масловідокремлювач, під надлишковим підпором витікають з картера в атмосферу. Внаслідок різниці тисків в картер через маслосаливну горловину, забезпечену фільтром, надходить свіже повітря. Потрапляючи в атмосферу, картерні газів отруюють її, оскільки містять значну кількість токсичних речовин. Тому видалення картерних газів в атмосферу небажане. Основна несправність системи відкритої вентиляції є закоксування масловідокремлювача, тому під час проведення ТО-3 бажана його прочистка.

При проведенні діагностування за параметрами картерних газів необхідно знати тип системи вентиляції картера, оскільки в залежності від неї вибираються місця та способи вимірювання, а також параметр - витрата або тиск газів. Необхідно пам'ятати, що при несправності системи вентиляції картера можна неправильно оцінити технічний стан ЦПГ.

1.4 Використання параметрів картерних газів під час діагностування

там

Аналіз літератури [22, 23, 63], а також опитування представників зарубіжних фірм техніки та діагностування, що брали участь на міжнародних виставках, які проводились у нашій країні, показав, що використання параметрів картерних газів з метою оцінки технічного стану в експлуатації ними не застосовується.

Здебільшого це пояснюється різними підходами у нас та за кордоном до діагностики машин. Якщо вітчизняна діагностика в першу чергу спирається на використання накладних, що вбудовуються лише при діагностуванні засобів контролю, то за кордоном широко впроваджена та вдосконалюється вбудована система електронного автоматичного керування та контролю роботи машини. Така відмінність викликана сильним технічним та технологічним відставанням вітчизняного машинобудування, яке останнім часом лише збільшується.

Проте вітчизняні підприємства, які використовують зарубіжну техніку виробництва США, Євросоюзу, Японії, через велику вартість надання діагностичних послуг дилерськими фірмами, кунують найпростіші засоби діагностування машин, які можна використовувати і висококваліфікованому фахівцю. До них входять і витратоміри картерних газів. Щоправда, зазвичай це відбувається після закінчення гарантійного терміну служби техніки.

Тому завдання вдосконалення методу та засобів діагностування за параметрами картерних газів як простого, швидкого та дешевого способу оцінки технічного стану ЦПГ є актуальним.

1.5 Завдання дослідження

З проведеного аналізу сформульовані такі завдання дослідження.

1. Уточнити експлуатаційні фактори, що впливають на зміни показань параметрів картерних газів, з метою їхнього обліку при діагностуванні, що підвищить точність та достовірність оцінки технічного стану.

2. Розробити математичну модель, що описує фактори, що впливають на витрату картерних газів, відмінність якої полягатиме в тому, що вона враховує вплив навантажувального, теплового, швидкісного режимів роботи двигуна. Дана модель дозволить оптимізувати режим діагностування за найменшої трудомісткості з отриманням достовірного результату.

3. На підставі врахованих експлуатаційних факторів удосконалити технологію діагностування та розробити новий пристрій для контролю технічного стану ЦПГ автотракторних дизелів.

4. Провести дослідно-виробничу перевірку, дати техніці економічну оцінку вдосконалення технології та пристрої для діагностування ЦПГ.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

РОЗДІЛ 2 ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ ФАКТОРІВ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ПАРАМЕТРИ КАРТЕРНИХ ГАЗІВ

2.1. Програма проведення роботи

Об'єкт та предмет досліджень

Об'єктом досліджень у загальному випадку є циліндропоршнева група автотракторних дизельних двигунів, діагностичні параметри яких можна характеризувати параметрами картерних газів.

Предмет досліджень є витратою газів, що прориваються в порожнину картера, який розглядається як діагностичний параметр оцінки технічного стану циліндропоршневої групи двигуна.

У дослідженнях приділено увагу впливу експлуатаційних факторів та режимів роботи двигуна на значення параметрів картерних газів. Під час дослідження за параметрами картерних газів розроблено технологію діагностування двигуна під час експлуатації.

Відповідно до поставлених завдань, розглянутих у першому розділі, розроблено програму досліджень, для виконання якої необхідно провести такі роботи:

1. Провести теоретичне обґрунтування оцінки обраних діагностичних параметрів, якими визначається технічний стан циліндропоршневої групи двигуна внутрішнього згоряння.

2. Скласти структурну схему об'єкта діагностування із вхідними параметрами картерних газів та факторами, що впливають на зміну даного параметра.

3. Провести теоретичні та експериментальні пошукові дослідження для встановлення режимів та умов роботи, за яких витрата картерних газів буде найбільш інформативною як діагностичний показник.

4. Розробити дослідний зразок аналізатора картерних газів визначення технічного стану ЦПГ.

5. Розробити технологічний процес контролю технічного стану ДВС за параметрами газових потоків, що прориваються в картер двигуна.

6. Провести виробничу перевірку результатів роботи та дати її техніко-економічну оцінку.

7. Провести використання розробки на днічч підприємства.

Структурна схема досліджень представлена Рисунок 2.1.

2.2 Особливості методики проведення роботи

2.2.1 Загальна методика досліджень

Для вдосконалення методу експрес-діагностування циліндропоршневої групи двигуна внутрішнього згоряння за параметрами картерних газів у роботі описані теоретичні, стендові та експлуатаційні дослідження.

Експериментальні дослідження були спрямовані на перевірку теоретичних передумов, розглянутих у розділі 3, а також вивчення питань, не вирішених теоретичним шляхом. Відповідно до програми та завдань досліджень методикою передбачено чотири етапи практичних робіт.

На першому етапі передбачалося проведення стендових випробувань з виявленням факторів роботи двигуна, що впливають на діагностичні показники картерних газів

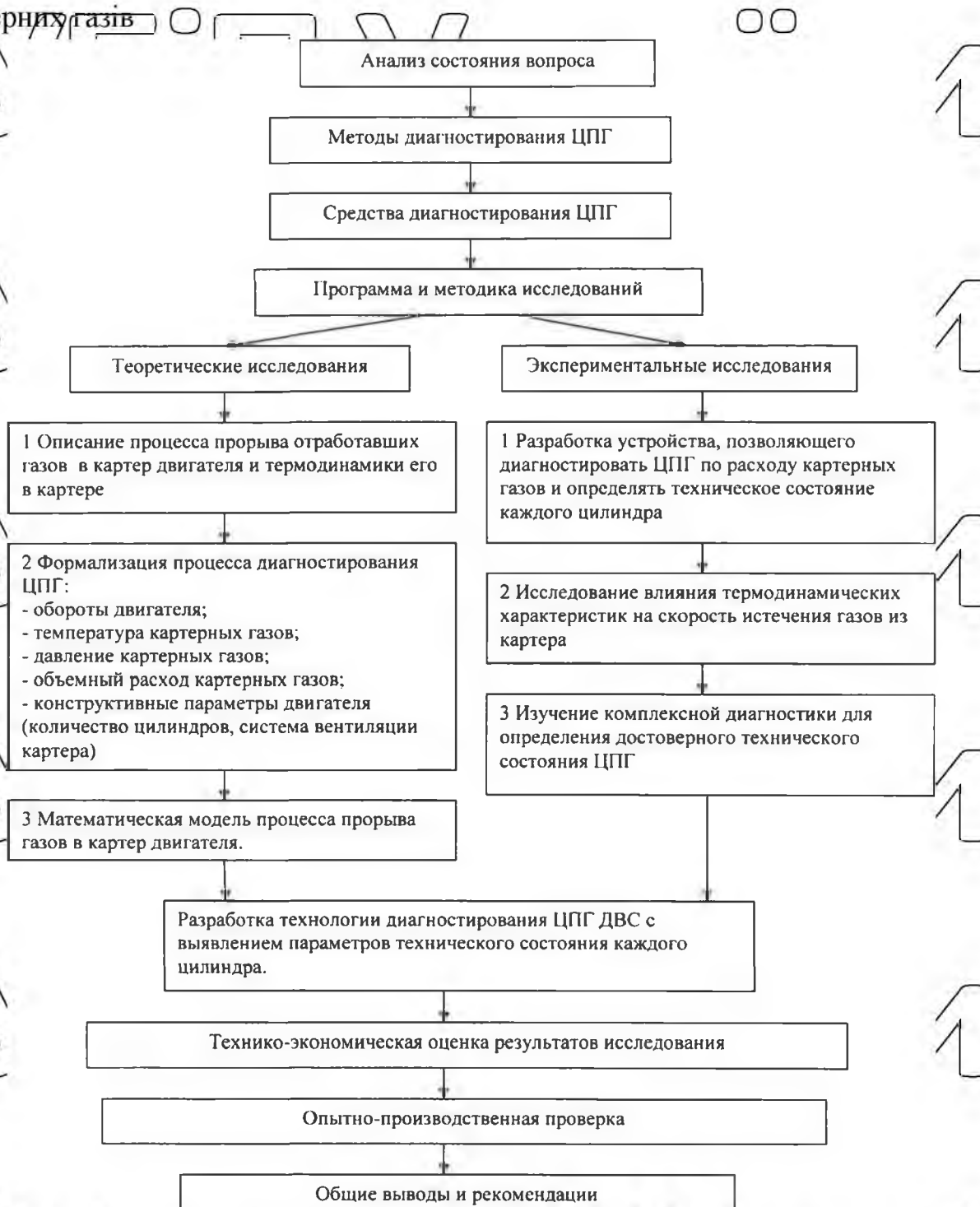


Рисунок 2.1 Структурна схема дослідження

На другому етапі розроблявся прилад - аналізатор картерних газів, що

дозволяє вимірювати параметри картерних газів (температура, витрата, тиск, пульсації параметрів, графічне відображення параметрів за часом).

На третьому етапі дослідження проводилися в експлуатаційних умовах підприємств для перевірки лабораторних результатів, удосконалення та відпрацювання технології діагностування технічного стану циліндропоршневої групи з витрат картерних газів.

На четвертому етапі проведено узагальнення результатів дослідження, удосконалення, перевірка та коригування технології діагностування за параметрами картерних газів.

Для реалізації програми розроблено загальну методику виконання роботи.

1 Проведення теоретичних досліджень щодо обґрунтування оцінки технічного стану Ц111 за параметрами картерних газів. Оцінка факторів, що впливають на параметри картерних газів, та виділення домінуючих, які необхідно враховувати щодо технічного стану ЦПГ ДВС. Опис впливу температури та тиску картерних газів на їх об'ємну витрату, а також залежність об'ємної витрати від оборотів колінчастого валу та навантаження двигуна.

Проведення дослідження та аналіз існуючих даних щодо встановлення зв'язку між значеннями діагностичних та структурних параметрів ЦПГ, за допомогою яких оцінюється технічний стан ЦПГ.

Наступний крок теоретичного обґрунтування – це розробка математичної моделі, що включає опис кількісного впливу розглянутих факторів на параметри картерних газів. Фактори, що впливають на діагностичні показання, можна розділити на три групи: 1) параметри, що визначаються напрацюванням (збільшення зазорів, зношування ЦПГ), в процесі експлуатації дані параметри зростають; 2) параметри процесу роботи двигуна (температура, тиск, в'язкість та забрудненість масла) - залежать від часу та тривалості роботи, мають нестійкий характер зміни та приводяться в норму проведенням ТО; 3) параметри експлуатації (навантаження, частота обертання двигуна).

Математична модель передбачає опис багатофакторної кореляційної залежності з оцінкою вагомості кожного фактора з урахуванням низки обмежень та припущень, які істотно не впливають на параметри картерних газів.

2 Проведення експериментальних досліджень щодо визначення впливу експлуатаційних факторів на параметри картерних газів. Проведення перевірки відповідності теоретичних та експериментальних даних про методи визначення технічного стану ЦПГ щодо картерних газів. Проводить вимірювання динамічних та статичних значень параметрів картерних газів на вибраному режимі роботи двигуна. Проведення досліджень зміни параметрів діагностування залежно від зміни режиму роботи двигуна, визначення факторів, що впливають на зміну показань параметрів, що діагностуються.

3 Проведення досліджень щодо вибору оптимального режиму роботи двигуна для проведення діагностичних вимірів методом, що розробляється. Це зумовлено практичними завданнями зниження трудомісткості та вартості діагностування, а також можливістю проведення діагностування у будь-яких експлуатаційних умовах.

4 Створення макетного зразка аналізатора картерних газів з підбором необхідних датчиків та розробкою допоміжного обладнання для підключення.

5 Обробка результатів дослідження, їх узагальнення та встановлення закономірностей. Розрахунок та аналіз похибки методу вимірювання. Розробка технології та рекомендацій її застосування при діагностуванні ЦПГ ДВЗ. Перевірка одержаних результатів на виробничих об'єктах з оформленням офіційних документів як актів.

2.2.2 Методика визначення оптимальних режимів діагностування

Вибір оптимальних режимів діагностування аргументували отриманням необхідної відповідної інформації, що враховує певний метод обслуговування, закономірності зміни технологічного стану системи та витрати на виконання діагностичних робіт, профілактичне обслуговування та ремонт машини. Інформацію про зміну технічного стану можна оцінювати двома способами. У першому випадку вимірюються лише статичні значення параметра, які характеризують переважно стан вузла чи агрегату загалом, не конкретизуючи причину і область несправності. До другого типу належать динамічні виміри параметрів, які дозволяють виявити нерівномірності, області та причини несправностей. Другий спосіб все ж таки є доповненням до першого методу, і окремо застосовується рідко. У своїй роботі ми використовували обидва методи діагностування.

2.2.3 Експериментальне встановлення та обладнання для моделювання факторів, що впливають на параметри картерних газів

Для досліджень впливу параметрів роботи двигуна на діагностичні показники картерних газів застосовувався обкатно-гальмівний стенд КІ-2118А із встановленим на нього двигуном Д-240 (МДАУ, кафедра «Трактори та автомобілі») (рис. 2.2). Стенд дозволяє встановлювати будь-який швидкісний режим у межах 700...2300 хв⁻¹ під час роботи двигуна. Управління швидкісним режимом здійснюється механізмом зміни положення рейки чашового наєеса. У процесі досліджень реєструвалися параметри, подані у таблиці 2.1.

Кошти контролю можна поділити на 3 частини. Перші - це вимірювальні пристрої, вбудовані в двигун заводом-виробником: датчики температури та тиску. До других відносяться вбудовані та накладні датчики: тахометр, датчики тиску та витрати картерних газів, ваговий термінал. До третіх - загальне обладнання вимірювання параметрів довкілля: термометр, барометр,

психрометр. Частина вимірювальних пристроїв винесена на пост керування (рисунок 2.3).

Таблиця 2.1 - Устаткування, що застосовується у дослідженні

| Вимірюваний параметр | Засіб вимірювання | Клас точності | Одиниця вимірювання | Діапазон вимірювань |
|--|-----------------------------|---------------|---------------------|---------------------|
| 1 Крутний момент | ваговий термінал | 2,5 | Нм | 0...100 |
| 2 Частота обертання колинчастого валу | електричний тахометр ЦАТ-3М | | хв ⁻¹ | 0...3500 |
| 3 Тиск олії в головній олійній магістралі | манометр МСПІ-100 | 2,5 | МПа | 0...10 |
| 4 Температура навколишнього повітря | термометр ТБН-3-М2 | | °С | -40...50 |
| 5 Відносна вологість навколишнього повітря | гігрометр ВІТ-1 | 1 | % | 20...90 |
| 6 Температура охолоджуючої рідини на виході з дизеля | термометр ТМ | | °С | 0...120 |
| 7 Кількість газів, що прориваються в картер газів | KI-28292, KI-17999 | - | л/хв | 0...280 |
| 8 Тиск картерних газів | KI -28292 | | кПа | 0...100 |



Рисунок 2.2 - Обкатно-гальмівний стенд із двигуном Д-240.



Рисунок 2.3 - Пост управління обкатно-гальмівного стенду.

Швидкість обертання колінчастого валу, температуру рідини, що охолоджує, і тиск масла в магістралі двигуна вимірювали приладами обкатно-гальмівного стенду: електричним тахометром ЦАТ-3М (межі вимірювання $0 \dots 3500 \text{ хв}^{-1}$); термометром ТМ (межі вимірювання $0 \dots 120^\circ\text{C}$) та манометром МСН-100 (межі вимірювання $0 \dots 10 \text{ кг/см}^2$), рисунок 2.4.



Рисунок 2.4 – Прилади посту управління.

Контроль теплового стану двигуна здійснювався встановленою термопарою у верхньому пагрубку, що відводить, сорочки охолодження. Для охолодження двигуна використовувалася вода водопровідної мережі. З цією метою система охолодження двигуна була з'єднана зі спеціальним змішувачем (Рисунок 2.5). Температуру води у системі охолодження регулювали шляхом дроселювання потоку холодної води.

Під час випробувань температура довкілля перебувала у діапазоні $22 \dots 25^\circ\text{C}$, вологість повітря 85%, атмосферний тиск - $101,3 \text{ кПа}$. На двигуні Д-240 було проведено капітальний ремонт із заміною циліндропоршневої групи, проведено процес обкатки.



1- змішувач водоподачі; 2 - шланг підведення холодної води; 3 - датчик температури (термопара)

Рисунок 2.5 – Охолодження двигуна.

Перед проведенням досліджень впливу різних чинників параметри картерних газів проводилися підготовчі роботи. Двигун протягом певного часу прогрівався (крім досвіду перевірки впливу температури двигуна на витрату картерних газів) до температури 75...85°C. Перметизувалися масломірна та маслосазливна горловини гумовими конічними пробками. На сапун встановлювали датчик витрати для вимірювання кількості газу, що проривається з порожнини картера (рисунок 2.6)



Рисунок 2.6 - Встановлення датчика витрати на сапун двигуна.

2.2.4 Пристрій для оцінки технічного стану циліндропоршневої групи за параметрами картерних газів

Розроблено дослідний зразок аналізатора картерних газів КІ-28292 ДЕРЖСНІГІ та технологію контролю технічного стану ЦПН за параметром картерних газів. Розроблений та виготовлений дослідний зразок КІ-28292 ДЕРЖСНІГІ (рисунок 2.7) дозволяє вимірювати три параметри діагностування газових потоків: об'ємну витрату, тиск, температуру. Прилад має вбудовану акумуляторну батарею, що заряджається від міні -USB, 4 виходи на датчики, роз'єм для картки пам'яті міні -SD. Для зміни параметрів, що переглядаються, використовується джойстик. Вимірювання значень параметрів може проводитись у різних точках, пов'язаних із порожниною картера двигуна. Для

нього в набір входять перехідні пристрої.

Прилад забезпечує проведення діагностування систем двигуна, де є рухи газових потоків (система впуску та очищення повітря, система відведення відпрацьованих газів, система відведення картерних газів). Прилад призначений для діагностування автотракторних двигунів потужністю 450 кВт. Основні параметри, які вимірює та відображає прилад, представлені у таблиці 2.2.



Рисунок 2.7- Досвідчений зразок КІ-28292-ГОСНТІ.

Таблиця 2.2 – Параметри вимірювання приладу

| Найменування параметру | діапазон вимірів |
|---|---------------------------|
| Температура поверхні та середовища (газу) | -20...+150 ^o C |
| Надлишковий тиск газу | 0...500 кПа |
| Абсолютний тиск газу | -100...+100 кПа |
| Об'ємна витрата газу | 0...200 л/хв |
| Пульсація тиску газу | - |
| Пульсація зміни витрати газу | - |

Вимірювання значень параметрів здійснюється на працюючому двигуні, вбудувавши накладні датчики у можливі та найбільш зручні місця приєднання.

Так при діагностуванні циліндропоршневої групи датчики встановлюються або на маслозаливну горловину або на вивідний шланг системи рециркуляції картерних газів; при діагностуванні турбонаддува двигуна датчики встановлюються в порожнину нагнітання компресором повітря. Варто звернути увагу, що залежно від конструкції об'єкта контролю, основні діагностичні параметри різні. Так у двигунів із вільною системою відведення картерних газів діагностичним параметром при визначенні технічного стану ЦН служить об'ємна витрата, а у двигунів із системою рециркуляції картерних газів - надлишковий тиск у порожнині картера.

Функціональним достоїнством приладу є можливість перегляду інформації, що отримується з датчиків одночасно в різних режимах - цифровому і графічному.

Цифрове відображення інформації - показує поточне значення параметра, що діагностується, і порівнює його з номінальним значенням для цього параметра.

Графічне відображення інформації - показує динаміку зміни параметрів за часом у графічній формі (осцилограма).

Технічна характеристика приладу

Таблиця 2.3 - Основні технічні характеристики KI-28292-ГОСНИТИ

| Найменування параметру | Значення |
|--|-------------------|
| Тип | Переносний |
| Число вимірюваних (контрольованих) параметрів, прим. | 6 |
| Кількість датчиків у комплекті, шт. | 3 |
| Кількість виходів під датчики, прим. | 4 |
| Час безперервної роботи від акумуляторів, год. | 2...3 |
| Напруга живлення приладу, | 3 |
| Споживаний струм, мА, не більше - при нарузі, | 250 |
| Виукрішне підсвічування дисплея | є |
| Відображення інформації | цифрове, графічне |
| вбудована пам'ять | є |
| Межа допустимої основної похибки вимірювання параметрів, % | ±1,5 |
| Габаритні розміри, мм | 150x70x25 |
| Маса, кг, не більше | 0,650 |

Діагностичний пристрій являє собою електронно- програмований блок з екраном відображення числових і графічних значень параметрів з приєднаними датчиками з уніфікованим вихідним сигналом за напругою. Має вбудовану акумуляторну батарею з тривалістю роботи не менше 2 годин. З можливістю збереження отриманих даних у пам'яті приладу та подальшого їх перегляду та виведення даних на комп'ютер. Прилад легко утримується в руках (малі габарити та маса).

Прилад має накладні датчики вимірювання контрольованих параметрів. Датчики роз'ємні. Також в комплект входять знімні перехідники для встановлення датчиків у різних точках та можливості під'єднання до кількох марок двигунів.

Частота дискретизації - параметр, що характеризує, скільки разів за одиницю часу прилад проводить вибірку (вимірювання та аналого-цифрове перетворення) сигналу, що дорівнює 10 в секунду.

Роздільна здатність та розмір екрану. Цей параметр прямо впливає на зручність сприйняття інформації:

- при роботі з приладами не на базі ПК - діагональ екрану - не менше 8-12 см. (4-6") та роздільна здатність - не менше 250 на 320 пікселів.

Програмне забезпечення приладу дозволяє:

при знятті осцилограм є можливість запам'ятати проглядається осцилограму (послідовність кадрів, що відображаються) для подальшого аналізу, коли цікаве діагноста можливе зміна осцилограми носить або занадто короткостроковий, або неперіодичний (непередбачуваний характер), а також, коли потрібно глибоко проаналізувати осц. п.,

- прилад має хорошу продуктивність при зніманні та обробці інформації, а також швидкість виведення інформації на екран;

- у приладі є функція використання вимірювальних міток (маркерів) - діагност вибирає певну точку або точки осцилограми та отримує інформацію про значення амплітуди сигналу у вибраній точці. Маркери можна переміщати за графічним відображенням сигналу та оцінювати інформацію не тільки про амплітуди сигналу, а й про тривалість тимчасового проміжку між ними.

Вимоги до метрології

Типи та характеристики вимірювальних параметрів зрозумілі користувачеві. Одиниці виміру відповідають системі СІ. Похибка визначення параметрів газових потоків складається із складових похибок.

Вимірювання температури, тиску та параметрів об'ємної витрати газового потоку.

Основна похибка засобів вимірювання параметрів об'ємної витрати газу, повітря та газових потоків (температури, тиску та ін.) не перевищує 5%.

Похибка вимірювання параметрів об'ємної витрати газового потоку розраховується відповідно до ГОСТ 17.2.4.06-90 Норма точності. Відповідно до ГОСТ 17.2.3.01-86 та РД 52.04.59-85 основна похибка засобу вимірювання тиску не перевищує $\pm 1,5\%$, а засоби вимірювання об'ємної витрати не перевищує $\pm 2,5\%$.

Калібрування приладу з вимірювання характеристик об'ємної витрати газу та повітря здійснювалося засобами вимірювання, що пройшли державну метрологічну атестацію або державні виробництва та внесені до Державного реєстру засобів вимірювань.

Умови експлуатації

Вимірювальний прилад та датчики не повністю захищені від бруду, пилу, вологи, механічної дії, тому вимагають дбайливого поводження. Інші умови - звичайні для експлуатації на відкритому повітрі: температура навколишнього середовища від -10°C до $+30^{\circ}\text{C}$, відносна вологість до 95%.

Вимоги безпеки

Прилад з вимог безпеки відповідає ГОСТ 12.2.003-91 Устаткування виробниче. Загальні вимоги безпеки / Occupational safety standards system. Industrial equipment. General safety requirements.

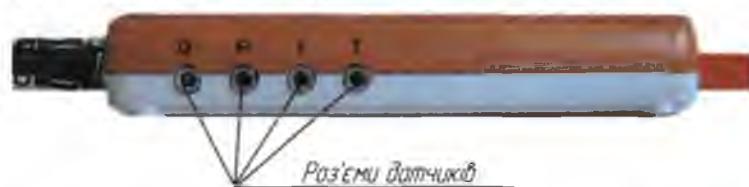


Рисунок 2.8- Зовнішній вигляд приладу

Увімкнення приладу здійснюється за допомогою джойстика (утримуванням його в положенні 2...3 с). Все керування роботою приладу здійснюється за допомогою кнопки-джойстика, розташованого на лицьовій панелі праворуч від екрану (рисунок 2.8).

Відображення інформації, яка отримується з датчика, здійснюється одночасно як графічної, так і цифрової.

Після включення протягом кількох секунд проводиться самодіагностика - контроль справності основних вузлів, після чого прилад переходить у режим ручного вибору датчиків, приєднаних до відповідних роз'ємів (Тест 1, Тест 2). Кожен датчик приєднується до свого роз'єму, включення датчиків до іншого роз'єму не допускається. На рисунках 2.9, 2.10 відображено роз'єм датчиків. У разі неправильного вибору типу датчика можливі збої у показаннях приладу.



Q – роз'єм під датчик витрати; P – роз'єм під датчик тиску; T - рознімання під датчики температур

Рисунок 2.9 – Входи під датчики.

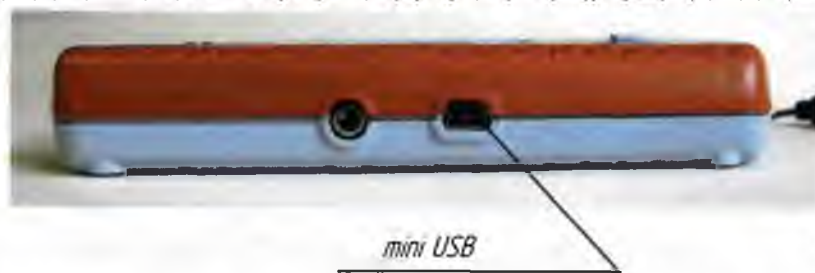


Рисунок 2.10 – Роз'єм живлення приладу.

Використовуючи джойстик переміщення, вибирається перегляд параметра від відповідного типу датчиків, запропонованого зі списку (до списку включені комплектуючі датчики). Після узгодження типів датчиків на екрані відобразяться поточні параметри (рисунк 2.11).

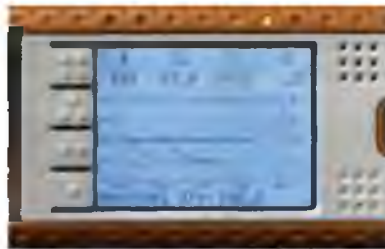


Рисунок 2.11 – Екран відображення параметрів.

На екрані відображається графічна зміна параметрів у часі з цифровими значеннями максимальних, мінімальних та середніх значень. Джойстиком, переміщуючи маркерну мітку, можна вибрати відображення значення цікавої для нас точки графіка.

Таймер, що працює, показує час вимірювання від початку вимірювань. Керуючи джойстиком, можна обнулювати значення таймера, параметрів, що знімаються, а також включати режим запису параметрів у пам'ять приладу.

Для увімкнення та вимкнення функції запису джойстик переміщується праворуч. Під час записування на екрані вмикається таймер, який показує час запису. Дані зберігаються на знімну пам'ять CD - 1Гб (Рисунок 2.12) Для перегляду на комп'ютері записаних даних необхідне спеціальне програмне забезпечення, що підтримує формат файлу.



Роз'єм карти пам'яті

Рисунок 2.12 — Гніздо картки пам'яті приладу.

Вимкнення приладу здійснюється за допомогою джойстика (утриманням його в положенні 2...3 с).

2.2.5 Методики досліджень факторів, що впливають на параметри картерних газів

Лабораторні дослідження проводилися кілька етапів. На кожному етапі вимірювалася витрата картерних газів при зміні значень одного з факторів роботи двигуна з допущенням рівних інших умов. Отримані значення зносилися до таблиць.

Вплив якості Олії на витрату картерних газів

Для підтвердження теоретичних передумов впливу якості масла на витрату картерних газів було поставлено досвід зміни моторного масла. Спочатку проводилося вимірювання витрати картерних газів на старому маслі, що вимагає заміни, яка була залита для обкатки двигуна після ремонту. Потім старе масло зливалось і заливалося нове, М8Г, і вимір витрат картерних газів повторювалося.

Для моделювання проміжного стану масла проводили змішування мастил. Масло зливалось з двигуна, у свіже масло додавалася частина зістареного (за обсягом), змішувалася і заливалася назад у двигун до необхідного рівня. Приймаючи за припущення, що за 500 мото-годин моторне масло повністю старіє, при змішуванні мастил у пропорції 1:5 (1 частина старого з 5 частинами нового) отримуємо 100 мото-годин напрацювання масла. При змішуванні за аналогією в інших пропорціях отримували відповідно різні мото-години напрацювання. Хоча в такий спосіб оцінити точні зміни витрати картерних газів від якості масла неможливо, проте можна визначити характер цієї зміни.

Вимірювання картерних газів у процесі прогріву двигуна

Для встановлення залежності витрати картерних газів від температури проводилися його вимірювання у міру поступового прогріву двигуна. Частоту обертання двигуна встановили рівною 2200 хв^{-1} . Зовнішнє навантаження на двигун не було. Прогрів двигуна оцінювався за температурою рідини, що охолоджує, температура і витрата картерних газів вимірювалися на виході з сапуна. Вимірювання витрати та температури картерних газів проводили зі збільшенням температури охолоджуючої рідини на кожні 10 градусів Цельсія.

Вимірювання картерних газів у процесі навантаження двигуна

Дослідження залежності витрати картерних газів від навантаження проводилося на прогрітому до 75°C двигуні. Витрата картерних газів вимірювалася в процесі навантаження двигуна за допомогою вагового терміналу. Дискретність навантаження, за якої знімалися показання витрати картерних газів, дорівнює $5 \text{ Н}\cdot\text{м}$. Максимальний крутний момент, що навантажується на двигун, $40 \text{ Кн}\cdot\text{м}$.

Вимірювання картерних газів від оборотів двигуна

Витрата картерних газів вимірювали при поступовому збільшенні частоти обертання колінчастого валу від мінімально стійких до номінальних оборотів

(800...2300 хв⁻¹) з інтервалом 200 хв⁻¹. Вимірювання проводилися без навантаження двигуна, показання знімалися на оборотах, що встановилися.

Вимірювання картерних газів від нерівномірної роботи двигуна

Для визначення впливу нерівномірності роботи двигуна параметри витрати картерних газів провели вимірювання витрати картерних газів при розгоні двигуна. Розгін двигуна здійснювали плавним переміщенням паливної рейки, але різної інтенсивності, з виміром часу її переміщення за допомогою секундоміру. За формулою 2.1 розраховували кутове прискорення колінчастого валу.

$$\varepsilon = \frac{\omega_2 - \omega_1}{60 \cdot t}, \quad (2.1)$$

де ε - кутове прискорення, рад/с²;

ω_1 і ω_2 - частоти обертання двигуна в початковий та кінцевий періоди вимірювань, хв

t - час зміни частоти обертання двигуна, с.

Відразу обмовимося, що похибка даної методології значна, проте, для відображення характеру впливу нерівномірності частоти обертання колінчастого валу витрата картерних газів цілком прийнятна.

2.3 Дослідно-виробнича перевірка результатів дослідження

Дослідно-виробнича перевірка здійснювалася з метою перевірки істинності лабораторних досліджень стосовно різних марок дизельних двигунів (Д-240, Д-21, ЯМЗ-238) та відпрацювання технології діагностування за параметрами картерних газів. Вимірювання параметрів картерних газів здійснювалося приладами КІ-17999М, КІ-28285, КІ-28292. Перевірка проводилася техніці в ГОСТІУТІ, в експлуатаційних умовах 1-ого автокомбінату, на тракторах індивідуального фермерського господарства. Вимірювання проводилися на техніці, що має різний доробок і знаходиться в різних технічних станах. Вимірювалися та перевірялися закономірності, виявлені при лабораторних дослідженнях, на різних марках двигунів та за різних умов навколишнього середовища. В результаті експериментальних досліджень було підтверджено дані, отримані на обкаточно-гальмівному стенді.

Об'єктами дослідження на Першому автокомбінаті стали вантажні автомобілі, які були надані для досліджень. Дослідження проводилися на вантажних автомобілях марок КАМАЗ та МАЗ, оснащених двигунами ЯМЗ. Загальна кількість техніки, що бере участь у дослідженнях - 46 одиниці, з якої 12 одиниць були поставлені на капітальний ремонт і 31 одиниця експлуатувалася з різним напрацюванням, частини з яких було проведено КР (рисунк 2.13). Вимірювання проводилося на експериментальній базі ДІУ ДЕРЖСНІТИ на

дизельному двигуні Д-243 (трактор МТЗ-82.1) та на тракторах Т-25 (Двигун Д-21) індивідуального фермерського господарства.



Рисунок 2.13 - Об'єкти діагностування, автомобілі марок МАЗ та КамАЗ.

Для підвищення інформативності та достовірності способу та прискорення процесу діагностування параметрів технічного стану ЦП, які пов'язані з витратою та тиском картерних газів, були проведені вимірювання тиску в картері двигуна на різних швидкісних режимах роботи двигуна. Спосіб реалізований на вимірі витрати та тиску картерних газів на різних швидкісних режимах двигуна при незмінному навантаженні.

Попередньо прогрівається двигун до робочої температури. Для вимірювання тиску газів у картері $P_{\text{вм}}$ використовується манометр з відповідною точністю вимірювань. Манометр через гнучкий гумовий шланг довжиною 1...1,5 м і внутрішнім діаметром 6...8 мм, який виконує роль демпфуючого пристрою, щільно встановлюється на маслозаливну горловину (рисунки 2.14, 2.15).

Для зручності з'єднання були використані перехідні пристрої з комплексу індикатора картерних газів КІ-17999М. За допомогою штатного тахометра або стробоскопа контролювалася частота обертання колінчастого валу двигуна. Проводилися вимірювання тиску в картері на номінальних та максимальних оборотах двигуна. Порівнюючи отримані дані між собою та з нормативними значеннями, оцінювали технічний стан вузлів двигуна.



Рисунок 2.14 - Вимірювання тиску в порожнині картера двигуна з відкритою системою вентиляції картера.



Рисунок 2.15 - Вимірювання тиску в картері двигуна із закритою системою вентиляції картера.

2.4 Математична модель кореляційної залежності прориву газів у порожнину картера від факторів, що впливають

Насправді визначення впливу чинників режимів роботи в параметр картерних газів необхідно абстрагуватися від низки складових, розглянутих під час формалізації процесу. Цей прийом хоч і дещо знижує точність прогнозованого результату, але дозволяє за збереження необхідної точності спростити модель. Реалізація цієї вимоги забезпечується проведенням багатофакторного кореляційного аналізу.

Щоб виявити цю невизначеність, з якої складається реалізація багатофакторної кореляції, необхідно провести:

вибір результуючого показника, що визначається з поставленого завдання;

- відбір факторів – аргументів;
- Прийняття гіпотези про форму зв'язку;
- Формування вихідних статистичних даних.

Фактори - аргументи, що включаються до кореляційної залежності, повинні відповідати вимогам методики, викладеним у названих першоджерелах, а також відображати об'єктивні особливості процесу роботи двигуна. Для

статистичної оцінки кількісних значень результуючого показника та факторів - аргументів як випадкових величин використовуються такі показники:

- середнє значення

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N} \quad (2.2)$$

де x_i - поточне значення компоненти;

N - обсяг вибірки;

- середнє квадратичне відхилення

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\bar{x} - x_i)^2}{N-1}}; \quad (2.3)$$

коefficient варіації

$$v = \frac{\sigma}{\bar{x}} \quad (2.4)$$

Аналогічно і величини y : мінімально необхідну кількість N поточних значень x_i і y_i визначається залежно від величини coefficienta варіації v .

Якщо функція густини ймовірності випадкової величини близька до експоненціального закону розподілу ($v \rightarrow 1$)

$$f(x) = \lambda \cdot e^{-\lambda x} \quad \text{при } x \geq 0, \quad (2.5)$$

кількість спостережень (дослідів) N визначається залежно від відносної помилки δ середнього значення середньої величини, що досліджується. При цьому відносна помилка визначається з довірчою ймовірністю β . Мінімальна кількість спостережень N приймається таким, щоб дотримувалася умова:

$$\delta + 1 = \frac{2N}{\chi_{1-\beta, 2N}^2} \quad (2.6)$$

де χ^2 - критерій згоди (Пірсона) теоретичного та статистичного розподілу досліджуваної величини із заданою ймовірністю β . Якщо функція розподілу ймовірності задана законом розподілу Вейбула ($1 \geq v > 0.33$),

$$f(x) = b\lambda x^{b-1} e^{-\lambda x^b} \quad \text{при } x \geq 0 \quad (2.7)$$

Число спостережень визначається в залежності від величин δ і β так і від величини v , U зміщених розподілів, коли ліва межа першого інтервалу більша за нуль, при розрахунках враховується поправка на зміщення. Далі наводиться оцінка параметра b , який із coefficientом варіації пов'язаний співвідношенням:

$$v = \frac{\sqrt{\Gamma\left(1+\frac{2}{b}\right) - \Gamma^2\left(1+\frac{1}{b}\right)}}{\Gamma\left(1+\frac{2}{b}\right)} \quad (2.8)$$

де Γ – знак гамма – функції.

Тоді кількість об'єктів спостереження визначається за умови:

$$(\delta + 1)^b = \frac{2N}{\chi_{1-\beta, 2N}^2} \quad (2.9)$$

Якщо функція щільності ймовірності задана нормальним законом розподілу ($0,33 > v > 0$):

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \text{ при } x \geq 0, \quad (2.10)$$

то кількість спостережень визначається за умовою:

$$\frac{\delta}{v} = \frac{x_{\beta; N-1}}{\sqrt{N}} \quad (2.11)$$

де $x_{\beta; N-1}$ – квантиль нормального розподілу. На підставі пошукових дослідів для більшості досліджуваних величин при $\delta < 0,15$ з довірчою ймовірністю не менше $0,9 - N > 20$.

Вибір форми зв'язку здійснюється на основі графічного аналізу парних взаємодій між результируючим показником та факторами – аргументами. Якщо з урахуванням допустимих наближень виявляється лінійний зв'язок, це припущення дозволяє формалізувати умову завдання у вигляді рівняння регресії:

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^p b_i x_i \quad (2.12)$$

Перевірочний розрахунок мінімального обсягу вибірки (поряд із раніше викладеною методикою) виконується за формулою:

$$N_1 = \frac{P \cdot (1 - k^2 r_k^2) \cdot (1 - r_k^2)}{r_k^2 \cdot (1 - r_k^2)} \quad (2.13)$$

де N_1 – обсяг вибірки;

r_k – задається коефіцієнт множинної кореляції;

k – необхідна точність обчислюваного коефіцієнта множинної кореляції;

P – число змінних (факторів – аргументів).

Якщо прийняти $r_k = 0,5$, $k = 0,9$ при $P = 5$, то обсяг вибірки $N = 16$. Однак такий обсяг вибірки не виключає наступної у багатofакторному кореляційному аналізі "проблеми зайвого фактора". Щоб її уникнути, необхідно збільшити вибірку до 30...40. Оскільки розрахунки проводяться із застосуванням персонального комп'ютера, такий обсяг можна визнати допустимим.

Визначення параметрів рівняння регресії розглядається з прикладу лінійної моделі (2.13). Це завдання зводиться до визначення числових значень $b_0, b_1, b_2, b_3 \dots b_p$. Для цих цілей складається так звана кореляційна таблиця, в яку заносяться значення факторів і результуючого показника для кожного випадку вибірки або середнє значення при триразовій повторності дослідів при одних і тих же значеннях факторів-аргументів. Після цього визначаються середньоарифметичні значення для кожної ознаки \bar{x}_p , \bar{y} та їх середньоквадратичні відхилення.

Наступний етап – обчислення коефіцієнтів парної кореляції, які показують тісноту (силу) зв'язку. Коефіцієнт кореляції показує скільки сигм у середньому змінюється величина y , якщо величина x_p змінюється однією сигмою. Оцінка зв'язку:

• якщо $r_{xy} = 1$, має місце повна пряма кореляція;

• якщо $r_{xy} = -1$ – повна зворотна кореляція.

Чим ближче абсолютне значення r_{xy} до нуля, тим менша сила зв'язку, а при $r_{xy} = 0$ зв'язок повністю відсутня. Коефіцієнти кореляції визначаються за виразом:

$$N_1 \sum_{j=1}^{N_1} y_j x_{pj} - \sum_{j=1}^{N_1} y_j \sum_{j=1}^{N_1} x_{pj}$$

$$r_{x_p y} = \frac{N_1 \sum_{j=1}^{N_1} y_j x_{pj} - \sum_{j=1}^{N_1} y_j \sum_{j=1}^{N_1} x_{pj}}{\sqrt{N_1 \sum_{j=1}^{N_1} y_j^2 - \left(\sum_{j=1}^{N_1} y_j \right)^2} \cdot \sqrt{N_1 \sum_{j=1}^{N_1} x_{pj}^2 - \left(\sum_{j=1}^{N_1} x_{pj} \right)^2}} \quad (2.14)$$

З коефіцієнтів парної кореляції утворюється система рівнянь, але які стосуються не самим коефіцієнтам регресії b_p , а до таких самих величин в стандартизованому масштабі b_p , які виражені в порівняльних одиницях σ і показують порівняльну частоту впливу зміни кожної змінної на зміну функції.

Усі описані розрахунки виконуються прикладними комп'ютерними програмами.

РОЗДІЛ 3 ТЕОРЕТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ КРИТЕРІЇ ДІАГНОСТУВАННЯ

3.1 Обґрунтування критеріїв вибору параметра діагностування

Зношування циліндропоршневої групи є найважливішим фактором, що впливає на надійність і безвідмовність двигуна. І завдання точного визначення зношеності ЦПГ під час експлуатації за непрямыми діагностичними параметрами вимагає особливої уваги. Існує безліч діагностичних параметрів оцінки технічного стану деталей циліндропоршневої групи, але єдиний параметр, що задовольняє умову експрес-діагностики, який характеризується зносами цієї групи, є прорив картерних газів. Нижче наводяться фактори, що вплинули на вибір параметрів газів.

Термін служби двигуна до ремонту визначається головним чином ступенем зношеності поршневих кілець, поршнів та циліндрів, шийок колінчастого валу та його підшипників, впускних та випускних клапанів та їх сідел. З перерахованих деталей зношування поршневих кілець, поршнів і циліндрів викликає найбільшу кількість порушень нормальної роботи двигуна, а виконання необхідних ремонтів пов'язане з найбільшою трудомісткістю. Ремонт та заміна деталей ЦПГ можливі лише при капітальному ремонті.

Для вирішення експлуатаційних питань важливим є не тільки фіксування величин зносів, що визначають систему ремонтних розмірів та технологію ремонту, але головним чином визначення впливу поступово наростаючого зносу на потужність, паливну економічність, безвідмовність та інші показники експлуатаційних якостей дизельного двигуна.

Зниження надійності та безвідмовності роботи двигуна, значна витрата масла, збільшення запасних частин, зростання трудомісткості робіт, необхідні підтримки техніки в придатному для експлуатації стані і є підставою для ремонту двигуна.

Основні структурні параметри, за якими мають місце відмови циліндропоршневої групи дизелів під час експлуатації:

- зазор у поєднанні поршень - гільза циліндра;
- зазор у поєднанні верхня канавка поршня - компресійне кільце;

- зазор у замку поршневих кілець;

- рухливість поршневих кілець;

- цілісність (відсутність тріщин) гільз циліндрів;

- Цілісність (відсутність кавітаційних руйнувань) посадкового пояса гільз циліндрів.

Ознаками, що свідчать про зношування або поломку деталей ЦПГ, багато джерел називають: втрата потужності; поганий запуск двигуна; перебої в роботі, детонації та стукіт у двигуні; підвищена витрата олії на чад; підвищена витрата картерних газів; забруднення олії продуктами зносу; димлення і т.д. Виходячи з

цього, наводиться безліч методів та засобів перевірки технічного стану циліндропоршневої групи. Проте проведені роботи [2,4,15] показали, що вплив зносу деталей ЦПГ деякі показники переомінені. Так, при граничному зносі циліндропоршневої групи потужність за одними даними (див. розділ 1) падає на

5...7%, а за іншими - зростає на 1.3%, і до того ж великий вплив, як на потужність, так та на економічність надає технічний стан паливної апаратури та порушення регулювань.

Про технічний стан циліндропоршневої групи двигуна судять за тиском в кінці стиснення (компресії). Однак при граничних зношуваннях компресія може змінюватися незначно за рахунок великої витрати масла, яке герметизує сполучення ЦПГ. На величину компресії основний вплив не знос циліндропоршневої групи, а негерметичність клапанів газорозподілу. Значення компресії є малодостовірними, оскільки тиск наприкінці стиснення залежить від частоти обертання колінчастого валу, а при використанні стартера не можна досягти сталості цієї частоти. Крім того, цей спосіб не дозволяє встановити несправність конкретної пари, що впливає на герметичність камери згоряння.

Цей метод використовують в основному для виявлення несправного циліндра з поломкою, що впливає на герметичність. До того ж даний метод вимагає значних витрат на розбирально-складальні роботи, а діагностика 6, 8 або 12 циліндрових двигунів взагалі видається безперспективною. Такі ж недоліки мають методи оцінки технічного стану ЦПГ за швидкістю падіння тиску і розрядження в камері

згоряння [69].

Якісним показником технічного стану ЦПГ є витрата олії на чад, і за наявності правильного обліку дає можливість встановити необхідний вид ремонту. За час роботи до капітального ремонту витрата олії збільшується у 3...5 разів. Варто відзначити, що величина чаду олії залежить від швидкісного та навантажувального режиму двигуна, тому важливим фактором, що впливає на облік витрати олії, є експлуатація техніки в однакових умовах.

Визначення технічного стану циліндропоршневої групи та клапанів газорозподілу двигуна проводиться по витоку з камери згоряння стисненого повітря. Витіки повітря відбуваються через зазори в стику поршневих кілець та через клапани газорозподілу, тому проблемою стає поділ витоків по парах пар. До того ж цей спосіб здійснюється у статистиці, і тому не зовсім чітко відображає реальний стан справ із зносів у двигуні.

Показником, який більшою мірою залежить від зносу ЦПГ, є кількість газів, що прориваються в картер двигуна. Вимірювання витрати картерного газу двигуна дає більш повні дані про стан циліндропоршневої групи. За час експлуатації двигуна до ремонту витрата газів у картері збільшується в 2...3 разів на холостому ході та в 4 і більше разів при повному навантаженні [15,33]. Тому при діагностуванні ЦПГ за параметром об'ємної витрати картерних газів варто приділяти увагу рівномірності роботи двигуна. Так, на режимі вільного прискорення витрата газів збільшується в 2,5...4 рази в порівнянні зі значенням на режимі роботи [72].

Існує ще безліч способів визначення технічного стану циліндропоршневої групи, але в основному вони або є органолептичними (прослуховування стуків і шумів, спостереження за рівномірністю роботи двигуна) або вимагають розбирання двигуна (метричні методи), або дуже рідко застосовуються (спектральний аналіз олії). Прорив газів у картер так само, як і чад картерної олії, - явище неминуче за будь-якого стану кільцевого ущільнення. Якщо припустити можливість створення ідеального компресійного кільця, що має герметичний замок, а також замкнуте лінійне сполучення по колу і по торнях кільця, то навіть

у цьому випадку відмінність у температурних і силових деформаціях окремих деталей циліндропоршневої групи при роботі двигуна неминуче призведе до прориву газів. Це відбувається тому, що відмінність робочих температур і силових напруг сприяє жолобленню деталей, зміні теплових зазорів і втраті пружності кілець. Отже, ні циліндр, ні поршень, ні кільця в експлуатації не залишаються практично круглими навіть у тому випадку, якщо в холодному стані вони мають таку форму.

Прорив газів в картер, згідно з сучасними уявленнями, здійснюється головним чином через радіальний зазор, що утворюється між стінкою циліндра і кільцем, а також через стик кільця.

Герметичність надпоршневого простору - функція цілком і повністю залежить від основного параметра технічного стану циліндропоршневої групи - здатності кільцевого ущільнення, що ущільнює, яку, як уже було зазначено, найбільш точно можна визначити по прориву газів в картер і витраті масла на чад.

Кільцеве ущільнення є лабіринтовим з рухомими проміжними ланками, що від початку не забезпечує абсолютну герметичність надпоршневого простору, а в період експлуатації безперервно змінює свою здатність ущільнювача, яка за часом напрацювання поступово падає.

При цьому зміна одних параметрів технічного стану, наприклад, збільшення зносу деталей і зростання зазорів у сполученнях (зазору між поршнем і гільзою, зазорів у замках кілець, зазорів між кільцями та канавками поршня по висоті, радіальних просвітів між кільцями та гільзою), спричиняє зміну ущільнюючої здатності кільцевого ущільнення [52]. Зміна інших параметрів (падіння тиску в кінці такту стиснення, зниження потужності, прискорене старіння олії картеру) є наслідком збільшення зазорів у з'єднанні поршень - циліндр.

Закоксування і залягання поршневих кілець можна розглядати як наслідок зниження ущільнюючої здатності, оскільки вони викликані посиленням лако-смолоутворенням в зоні кілець через хімічний розпад олії, що рухається у

бік камери горіння і взаємодіє зі зустрічним потоком гарячих газів. Закоксовування і залягання кілець викликають різке зниження здатності ущільнювача і виступають в якості його причини. У всіх цих випадках зміна інших параметрів технічного стану циліндропоршневої групи закономірно пов'язана зі зміною здатності кільцевого ущільнення, що ущільнює. Таким чином, останній параметр реагує на зміну багатьох інших параметрів і тому є найбільш універсальним.

Зниження ущільнюючої здатності призводить до таких негативних явищ:

- збільшення прориву газів з надпоршневого простору в порожнину картера, що зумовлює зниження тиску в кінці такту стиснення, падіння потужності при повному навантаженні, посилене старіння картерної олії та скорочення його терміну служби;

- Збільшення витрати масла через попадання його в камеру згорання, чаду та винесення в атмосферу у складі відпрацьованих газів;

- прискорення швидкості зношування циліндропоршневої групи через підвищення теплонапруженості деталей внаслідок того, що кільця, що омиваються гарячими газами, гірше відводять тепло від поршня до гільзи;

- зниження терміну служби деталей та вузлів інших систем двигуна, наприклад, форсунок - закоксовуються розпилувачі через інтенсивне нагароутворення внаслідок попадання на них великої кількості олії.

Викладені доводи дозволяють зробити висновок про доцільність діагностування технічного стану циліндропоршневої групи на основі параметрів, що характеризують здатність кільцевого ущільнення. Їх вище викладеного впливає, що найбільш ефективними параметрами щодо цього є параметри картерних газів.

Варто відзначити, що однією з важливих характеристик методу, що застосовується в діагностуванні є його роздільна здатність (навіть більш важливою, ніж точність вимірювань). Роздільна здатність - найменша величина значень параметрів вимірювання, що розрізняються у процесі вимірювання. Тобто чим більше інтервали за величиною зміни діагностичного параметра, тим

точніше можна визначити технічний стан об'єкта, що досліджується.

Як видно з таблиці 3.1 (значення взяті з діагностичних карт), максимальне відхилення граничних значень від номінальних спостерігається параметрів об'ємного витрати картерних газів і витрати масла на чад. Відповідно у цих параметрів більша роздільна здатність, отже, за значеннями вимірних показань можна точніше оцінити технічний стан ЦПГ

У зв'язку з цим метод визначення технічного стану ЦПГ за параметром витрати картерних газів є кращим при експрес-діагностуванні. При застосуванні даного методу не потрібне ні часткове розбирання, яке змінює опрацьованість сполучених поверхонь, ні зняття окремих агрегатів з машини, що мінімізує складність та трудомісткість робіт при діагностуванні (діагностування з підготовкою займає 5...15 хв.), а також не вимагає фахівців Висока кваліфікація.

Таблиця 3.1 – Нормативи вимірювань діагностичних параметрів ЦПГ

| Діагностичний параметр* | Одиниця виміру | Номінальне значення | Допустиме значення | Граничне значення | Зміна значення раз. |
|---------------------------------|---------------------|---------------------|--------------------|-------------------|---------------------|
| Компресія | кгс/см ² | 28 | - | 17 | 1,64 |
| Вакуум | кгс/см ² | 0,85 | - | 0,55 | 1,54 |
| Залишковий вакуум | кгс/см ² | 0,17 | 0,20 | 0,27 | 1,58 |
| Об'ємна витрата картерних газів | л/хв | 28 | 68 | 95 | 3,4 |
| Витрата оливи** | л | 2,3 | - | 7,2 | 3,1 |

* Всі значення наведені для однієї марки двигуна Д-243

** Витрата моторної оливи на 100 літрів витраченого палива.

3.2 Показники несправностей двигуна

Слід зазначити, витрата (чад) масла, загальна надійність роботи двигуна, інтенсивність старіння мастила та темп зносу змінюються при зносі деталей ЦПГ. Крім того, велика кількість масла, що потрапляє в камери згоряння зношених двигунів, сприяє інтенсивному нагароутворенню на днищі поршня.

стінках камери згоряння та на форсунках, внаслідок чого двигун починає працювати з переборами та детонацією.

Знос ЦПР впливає як на чад олії, а й у його втрати. Особливо сильний вплив у двигунів, що мають систему рециркуляції картерних газів (екологічний стандарт Євро 3 і вище). При збільшеному витраті картерних газів система

рециркуляції не справляється, це призводить до збільшення тиску в картері, і згодом видавлювання масла через сальники і ущільнення. Також при високому тиску погіршується робота маслоуловлювального циклону, і масло разом з

картерними газами надходить у впускний колектор. Газ, що проривається в

картер, впливає на інтенсивність старіння мастила. Це своє чергу веде до необхідності частішої зміни самого масла.

Результати спеціальних досліджень [135] показали, що сорт олії та рівень його в картері мають незначний вплив на прорив газів. Ними практично можна знехтувати.

Якщо прорив картерних газів перевищує допустиму межу, то можуть спостергатися такі явища: втрата потужності та підвищення питомої витрати палива; підвищення температури поршня та поршневих кілець; коксування мастила в канавках поршня і на поршневих кільцях; пригорання кілець;

підвищений знос циліндра та кілець; забруднення та прискорене старіння олії в картері; втрата мастила з картера внаслідок підвищеного тиску, що виник у ньому, та ін.

Вплив навантажувального та швидкісного режимів роботи двигунів на прорив газів у картер досліджувалися також [75, 99, 131, 133, 135].

Результати цих досліджень, які проводилися на карбюраторних двигунах, показали деяке збільшення прориву газів зі збільшенням навантаження. Збільшення прориву картерних газів від навантаження пояснювалося залежністю від наповнення

циліндрів повітряним зарядом. Дослідженнями [99] було встановлено, що зі

збільшенням оборотів карбюраторного двигуна прорив газів у картер також зростає. Однак, за даними дослідів інших дослідників [75, 135], цього не спостерігається.

У вітчизняній практиці (за опублікованими літературними даними) більш менш детально досліджено вплив витрати картерних газів на показники технічної працездатності автомобільних карбюраторних двигунів [135].

Рекомендуючи використовувати витрату картерних газів як показник ступеня зношування деталей, автори, як правило, встановлювали допустиму величину

прориву газів у картер з числа суб'єктивних уявлень про граничне зношування циліндропоршневої групи. Іноді граничну величину прориву газів встановлювали її вимірюванням у двигунів, циліндропоршнева група яких

досягла граничного зносу за іншими показниками (наприклад, по чаду масла,

компресії в циліндрах). Зміна прориву картерних газів як діагностичного показника, а також вплив його на показники роботи автотракторних дизельних двигунів, по суті, мало досліджено. Проведення таких досліджень дозволило б

витрати картерних газів із діагностичного показника зробити критерієм оцінки економічної доцільності експлуатації двигуна.

Підбиваючи підсумки викладеного, можна зробити такі висновки.

1 Двигуни при якісному обслуговуванні зі значним зносом ЦПГ за інших рівних умов зберігають потужність і витрачають паливо в межах норми. Це, однак, не є підставою для продовження експлуатації.

2 Знос ЦПГ впливає на надійність і безвідмовність роботи двигуна, веде до значного зростання витрати масла, збільшуючи витрату запасних частин на проведення ТО, ремонту та трудомісткість робіт, необхідних для підтримки техніки в придатному для експлуатації стані.

3 Для запобігання серйозним поломкам з наступним простоєм, необхідно стежити за технічним станом ЦПГ. Прорив картерних газів задовольняє вимоги експрес-діагностики і як діагностичний параметр є незамінним при оцінці технічного стану елементів двигуна.

4 Для отримання достовірних результатів діагностування технічного стану ЦПГ необхідно виконати операції, передбачені ТО-1 та ТО-2. Не проводячи ТО перед діагностикою, не можна оцінювати отримані дані як достовірні. Залежно та умовами експлуатації одні двигуни зношуються швидше, інші повільніше.

3.3 Вплив ущільнення циліндрів на прорив газів

Як зазначалося, оцінка технічного стану циліндропоршневої групи визначається інтенсивністю прориву газів з циліндрів двигуна в порожнину картера. Витік газів з надпоршневого простору двигуна можна розглядати як витікання з судини зі змінними, циклічно змінними параметрами газу через лабиринтне ущільнення змінної геометрії в середу з умовами, близькими до атмосферних.

Випливання газів з надпоршневого простору в картер - складний процес, на який впливають багато конструктивних і експлуатаційних факторів, а саме:

- Параметри циклу, тобто. тиск газів над поршнем, тепловий стан, що змінюються в кожний момент по куту повороту колінчастого валу;
- конструкція лабиринтного ущільнення та зноси, тобто. величина перерізів, які у процесі роботи двигуна змінюються у досить широких межах.

Параметри циклу, що протікає в циліндрах двигуна, визначаються умовами впуску, складом суміші, досконалістю сумішоутворення та згоряння тощо. Результуючим вихідним показником всіх цих процесів може служити вихідний момент, що крутить, на валу двигуна. Їх взаємозв'язок визначається формулою [85]:

$$P_e = \frac{225 \cdot \tau \cdot N_e}{V_h \cdot n \cdot i_u} \quad (3.1)$$

де: τ – тактистсть двигуна; N_e – ефективна потужність двигуна, кВт;

де i_u - число циліндрів; V_h – робочий об'єм одного циліндра, л; n - частота обертання колінчастого валу.

Геометрія кільцевого ущільнення залежить від точності виготовлення деталей циліндропоршневої групи, монтажних та теплових зазорів, умов мастила, щільності прилягання кілець до стінок циліндра, положення кілець у канавках поршня, вібрації кілець, температурних деформацій тощо. Зі збільшенням напрацювання двигуна відбувається зношування деталей циліндропоршневої групи, і дані параметри змінюються, зменшуючи ущільнюючу здатність з'єднання.

Велика кількість факторів, що впливають на витрату картерних газів з надпоршневого простору, не дозволяє аналітичним шляхом точно визначити кількість газів, що прориваються.

Однак з точки зору діагностування ЦПГ важливим є кількісна закономірність прориву картерних газів залежно від режиму роботи двигуна.

У зв'язку з тим, що теоретичний розрахунок величини витрати картерних газів надзвичайно утруднений, низка авторів пропонує емпіричні залежності визначення цієї величини.

У літературі [99] наводиться емпірична узагальнена формула визначення величини абсолютного витоку газів, що прориваються в картер двигуна:

$$V_{кз} = 0,1 \cdot P_i \frac{D}{S} \sqrt[3]{V_{hi}} \cdot i, \quad (3.2)$$

де: $V_{кз}$ - обсяг газів, що прориваються за цикл, л/хв; $\sqrt[3]{V_{hi}}$ - лінійний розмір одного циліндра, см; P - середній індикаторний тиск, кг/см²; i - число циліндрів; D - внутрішній діаметр циліндрів; S - хід поршня; $0,1$ - коефіцієнт, який визначається тривалістю циклу.

Розмір газів, розрахована за цією формулою, дає відхилення від експериментально виміряних трохи більше 8... 14 %. Проте, формула (3.2), за словами самих авторів, застосовна до розрахунку прориву лише нових карбюраторних двигунів. Для розрахунку прориву картерних газів знощеної циліндропоршневої групи вона неприйнятна.

Також дана формула не враховує залежності витрати картерних газів від швидкісних та навантажувальних режимів роботи двигуна.

У зв'язку з цим стоїть завдання розробки математичної формули, що дозволяє пов'язати витрату картерних газів з нагріванням двигуна та режимами його роботи.

3.4 Оцінка технічного стану циліндропоршневої групи методом багатфакторного регресійного аналізу

Як показав змістовний опис, витрата картерних газів, як діагностичний

параметр, залежить від багатьох факторів. Однак процес прориву картерних газів не піддається строгому математичному опису, що відображає вплив всіх факторів, що впливають на цей процес. У зв'язку з цим як метод отримання математичної моделі, який відбиває кореляційну залежність всіх чинників,

приймаємо метод «чорного ящика» з урахуванням математичного опису функції зміни діагностичного параметра. Відповідно до [146] функція вимірювання параметрів містить у собі ряд складових, одні з яких характеризують технічний стан безпосереднього об'єкта діагностування, інші - встановлюють на основі

сукупності попередніх випробувань сукупності об'єктів, а треті - визначаються залежно від методів, засобів та організації діагностування. Для нашого випадку витрата картерних газів як вихідний діагностичний параметр залежить від технічного стану ЦПГ режимів та умов роботи двигуна. Структурну схему впливу зазначених факторів на витрату картерних газів у вигляді інформаційної моделі «чорної скриньки» представлено на рис 3.1.

I група факторів є параметрами технічного стану циліндропоршневої групи (зноси, задирки, закоксування кілець та ін.).

II група факторів відображає режими роботи двигуна (навантаження, частота обертання, рівномірність роботи). Для процесу діагностування необхідно, щоб ці фактори були постійні і однакові для всіх випадків діагностування.

III група чинників характеризує параметри стану елементів двигуна, які

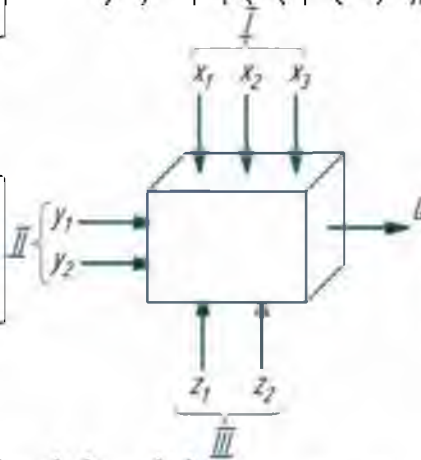


Рисунок 3.1 - Структурна схема інформаційної моделі.

впливають витрата картерних газів, але змінюються у процесі роботи двигуна (температура охолоджуючої рідини, в'язкість масла, старіння масла).

Результуючим показником прийнято витрату картерних газів. Завданням є скласти математичну модель кореляційного багатofакторного впливу і описати функцію витрати картерних газів як діагностичний параметр у вигляді:

$$Q_{kg} = f(N_e, T, n, t, u) \quad (3.3)$$

де Q_{kg} - витрата картерних газів; N_e - навантаження на двигун; T - напрацювання двигуна; n - частота обертання колінчастого валу; t - температура двигуна; u - в'язкість моторного масла.

З метою збільшення достовірності діагностування циліндропоршневої групи є нагальна необхідність виявити основні фактори, умови та режим роботи двигуна, що впливають на вихідні значення витрати картерних газів, як діагностичного показника параметра, що визначає технічний стан ЦПГ.

Такими показниками є: навантаження на двигун, напрацювання, температура, обороти двигуна, якість (розкладання) картерної олії. Найбільш важливим показником, звісно є зношування деталей циліндропоршневої групи, який ми для спрощення моделі пов'язали з напрацюванням двигуна. Таким чином, щодо витрати картерних газів без урахування впливу даних факторів складно достовірно

визначити технічний стан ЦПГ. Необхідно виявити вплив перерахованих вище факторів на витрату картерних газів.

За наявності стохастичних зв'язків між врахованими факторами ми використовуємо багатofакторний аналіз, на основі якого виявляємо необхідні регресійні рівняння.

Регресійний аналіз служить визначення аналітичного висловлювання зв'язку, у якому зміна одного параметра - витрати картерних газів обумовлено впливом кількох незалежних величин. Багато інших факторів, що також впливають на результуючий параметр, приймаються в якості постійних і середніх значень.

Регресії складаються як множинної залежності - многофакторные, так парних залежностей окремих чинників (парні). За формою залежності для

простоти та зручності ми вибрали лінійні регресії, виражені рівняннями прямої.

Складність формування рівняння множинної регресії полягає в тому, що деякі факторні параметри залежать один від одного. Для визначення їх взаємного

зв'язку використовуємо метод крокової регресії, що полягає у послідовному

включенні факторів у рівняння регресії та подальшій перевірці їхньої

значущості. Чинники по черзі вводимо до рівняння так званим «прямим

методом». При перевірці значущості введеного фактора визначаємо, наскільки

зменшується сума квадратів залишків і збільшується величина коефіцієнта

множинної кореляції - R. Одночасно використовуємо зворотний метод, тобто.

виключення чинників, які стали незначимими з урахуванням критерію Стюдента.

Фактор є значущим, якщо його включення до рівняння регресії лише змінює

значення коефіцієнтів регресії, не зменшуючи суми квадратів залишків і

збільшуючи коефіцієнт множинної кореляції. Якщо при включенні до модель

відповідного факторного параметра величина коефіцієнта регресії не зміниться

(або зміна не суттєва), то даний параметр суттєвий і його включення до рівняння

регресії необхідне.

Універсальне рівняння лінійної множинної регресії має вигляд:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_m X_m + \varepsilon, \quad (3.4)$$

де Y – значення результуючого параметра (витрати картерних газів);

$\beta_0, \beta_1, \beta_2 \dots \beta_m$ – коефіцієнти регресії;

$X_1, X_2, \dots X_m$ – факторні показники;

ε – відносна помилка.

Для знаходження параметрів лінійної множинної регресії необхідно

вирішити систему нормальних рівнянь. У зв'язку із застосуванням комп'ютерної

технології це здійснюється досить легко. Перевірка адекватності моделі

побудованої з урахуванням рівнянь регресії, починається з перевірки значимості

кожного коефіцієнта регресії.

3.5 Вплив динамічних явищ у двигуні на параметри картерних газів

Найбільш повно роботу елементів ущільнення циліндропоршневої групи двигунів внутрішнього згорання зробив німець К. Енгліш ще в 1935 [99]. Проте

всі свої розрахунки Енгліш провів для карбюраторного двигуна, і як показав їхній аналіз, його розрахунки неприйнятні для дизеля.

У сучасних дизелях тиск і швидкість газових потоків змінюються особливо інтенсивно. Якщо прийняти рух газів за рух, то результати розрахунку будуть сильно відрізнятися від результатів експериментів. Для спрощення розрахунків приймаємо гази, що прориваються з робочої камери порожнина картера, деякими умовними масами, швидкість, тиск і температура в усіх точках яких зазнавали однакових змін одночасно. Передбачається, що застосування даного методу дозволить отримати задовільний збіг результатів розрахунку та експерименту у нашому випадку.

Основний сенс моделювання процесів прориву газів у порожнину картера у тому, щоб з'ясувати вплив тих чи інших чинників якості перебігу цих процесів на моделі.

Моделюючи якесь явище, слід, перш за все, встановити, який зв'язок існує між основними фізичними величинами, що характеризують процеси, що відбуваються в обраному для моделювання явище. Таким зв'язком при розгляді течії газу з робочого об'єму циліндра в порожнину картера є рівняння руху газу, що стискається, нерозривності і стану.

Для повного опису картини протікання процесу до цих рівнянь слід приєднати також і рівняння теплообміну. Однак, враховуючи швидкоплинність та порівняно невеликі перепади температури для спрощення картини теплообміном у процесі прориву газів можна знехтувати.

Картер двигуна умовно можна вважати системою із постійним внутрішнім об'ємом. За законом нерозривності потоку газ, що надходить у картер нерозривним потоком, виходить із нього. Витік газу з порожнини двигуна відбувається лише через сапун або вивідний патрубок системи рециркуляції, залежно від конструкції двигуна. Припущення про те, що картерні гази виходять через сальникові та ущільнювальні сполуки, вважаємо невірним з низки причин: сальникові ущільнення розраховані на пропускання під тиск набагато більший, ніж створюють картерні гази при експлуатаційних режимах роботи (не

аварійних);

- при протіканнях через ущільнення на стиках газ, що проривається, виходить з дрібнодисперсною суспензією картерної олії. Зовні це спостерігається масляними підтікання на двигуні. Такий двигун вже є несправним, і перед діагностуванням необхідно усунути підтікання олії;

- масломірні та маслозаливні горловини конструктивно спроектовані герметичними, щоб уникнути попадання в двигун абразивних частинок пилу;

- при засміченні сапуна або клапана в системі рециркуляції різко зростає тиск у картері двигуна, що призводить до течії масла через сальникові ущільнення. Це свідчить про те, що основний потік картерних газів проходить через сапун (систему рециркуляції).

Тому якщо й є витіку через перераховані вище нещільності двигуна, крім сапуна або системи рециркуляції, то вони незначні, і не надають скільки-небудь великого впливу на витрату картерного газу, як це передбачалося раніше.

3.6 Вплив теплових умов на величину проміжків діагностованих сполучень

Залежно від режиму, в якому діагностується пару двигуна за різних теплових умов, змінюється і величина зазору. Особливо це стосується циліндропоршневої групи. У робочому режимі в умовах високих температур газів відношення граничного зазору до зазору в початковому стані (новий дизель) значно більше ніж відношення, отримане шляхом вимірювання деталей при 20 °С [30].

Температури відповідних поясів гільзи циліндра T_{cm} визначають з урахуванням тепловіддачі від поршня та безпосередньо від газів в умови рівності питомих теплових потоків:

$$\frac{T_{cm} - T_{охл}}{R_s} = \bar{\alpha}_z (T_g - T_{cm}), \quad (3.5)$$

де $T_{охл}$ - температура охолоджуючої рідини;

R_s - тепловий опір стінки гільзи;

$\bar{\alpha}_z$ - сумарний коефіцієнт тепловіддачі від газів та поршня до гільзи;

T_e - еквівалентна температура газів для відповідного поясу гільзи.

Еквівалентна температура газів T_e із середньою температурою за цикл T_z пов'язана співвідношенням $T_e = 1,06 T_z$.

Зазор між поршнем і гільзою розраховують за формулою $S_n = \Delta - \Delta_z$

де Δ - зазор поршень - гільза за нормальних умов (при 20°C).

Аналізуючи рівняння (3.4) та (3.5) отримуємо, що в холодному (непрогрітому до номінальної температури) двигуні температура робочих газів йде в першу чергу на прогрівання двигуна, зменшуючи щільні зазори в

з'єднанні поршень - циліндр. Відповідно, газів, що прориваються в картер двигуна через кільцеве з'єднання, віддають частину тепла гільзам циліндра, і згідно з політропним процесом зменшується об'єм газів.

Таким чином, облік теплового стану двигуна у діагностичному режимі дозволяє правильно оцінити дійсні співвідношення діагностичних параметрів.

Це має особливе значення при діагностуванні циліндропоршневої групи та контролі обкатки, коли зазори досягають мінімальних значень.

Отже, при діагностуванні важливо враховувати тепловий стан двигуна.

3.7 Вплив моторного масла на прорив газів у картер двигуна

Технічне значення в'язкості моторних масел, насамперед, визначається впливом цієї властивості на тертя та знос змащених деталей. Його можна поділити на вплив в'язкості безпосередньо на тертя, на збереження суцільного мастильного шару, що розділяє поверхні, що труться, і на надходження масла до гнізд тертя.

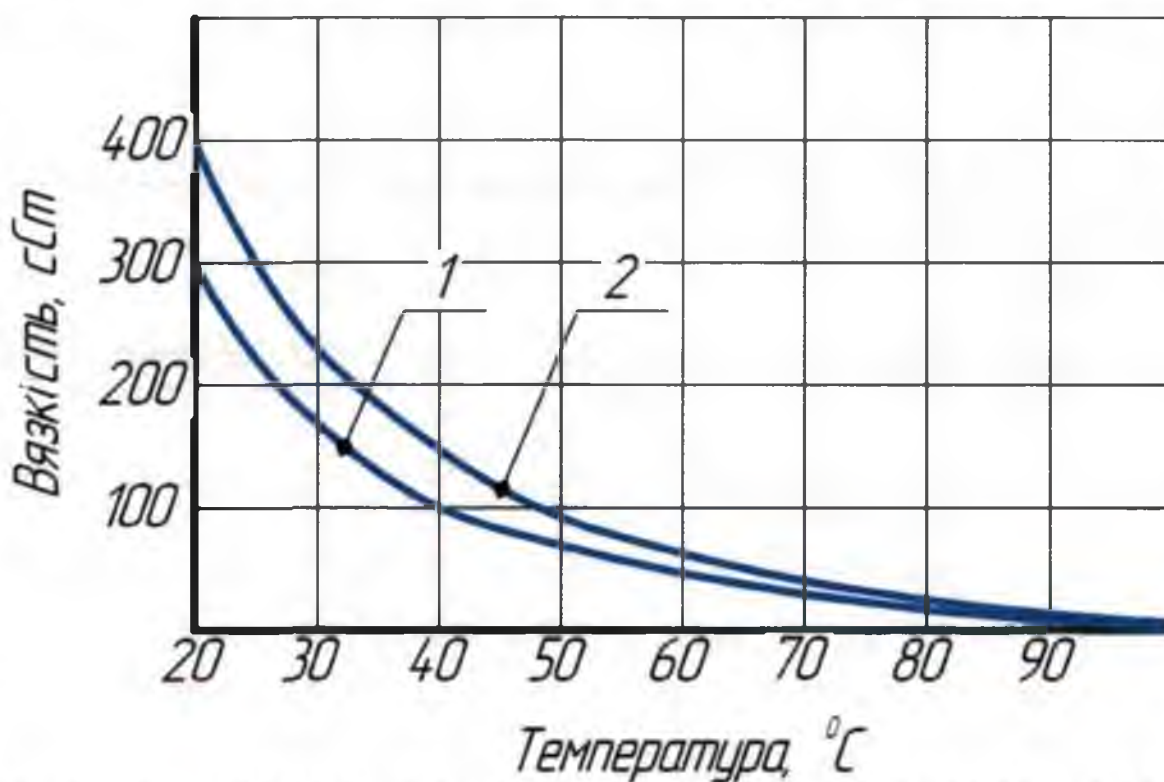
В'язкість мастила перешкоджає видавлюванню мастильного шару, що розділяє поверхні, що труться, і запобігає переходу рідинного тертя в сухе і напівсухе. У поверхневому шарі на кордоні з твердим тілом в'язкість масел є єдиним фактором, що визначає тертя. Основну роль у граничному режимі мастила відіграє властивість олії, що отримала назву маслянистість.

Маслянистість є наслідком пружності, підвищеної в'язкості та інших особливостей механічних властивостей рідини у поверхневому шарі [134].

В'язкість олії також впливає на відведення тепла. Кількість тепла, що

виділяється діючими деталями в умовах повного рідинного мастила, прямо пропорційно в'язкості (при постійному навантаженні та швидкості), але вона різко зростає при недостатньому мастилі (рисунок 3.2).

Зниження в'язкості обумовлює підвищену витрату масла на чад під час роботи двигуна внутрішнього згорання. Прикладом можуть бути дані, отримані Н.В. Брусянцева [34] при стендових випробуваннях двигунів (таблиця 3.2). У цих випробуваннях було зареєстровано досить значне підвищення в'язкості відпрацьованих олій. У зв'язку з цим зазначимо, що з роботи в двигунах внутрішнього згорання в'язкість масел змінюється (відбувається так зване старіння масел). З одного боку, в'язкість знижується внаслідок розведення паливом, з іншого - підвищується внаслідок окислення та полімеризації у зоні високих температур та навантажень.



1 - нова олива; 2 - застаріла олива

Рисунок 3.2 - Зміна кінематичної в'язкості олії М10В від температури.

Таблиця 3.2 Угар та підвищення в'язкості моторного масла в двигунах (за даними Н.В. Брусянцева)

| Олива | В'язкість Е50 | Збільшення | Угар оливи за 4 години роботи, |
|-------|---------------|------------|--------------------------------|
|-------|---------------|------------|--------------------------------|

| | початкова | кінцева | в'язкості, у % | % від еталонної оливи |
|-------|-----------|-----------|----------------|-----------------------|
| A 10 | 8,55 | 10,8-11,3 | 26-33 | 100 |
| A 6-с | 4,88 | 8,3-8,7 | 70-77 | 105,2 |
| A 6-д | 6,63 | 7,5-7,7 | 13-16 | 108,5 |
| A 6-к | 5,78 | 7,5-7,8 | 29-35 | 114,9 |

Таким чином, слід дійти висновку, що в'язкість є дуже важливою властивістю мастила, що забезпечує нормальний і надійний режим роботи машин і регулює витрату самої олії. Підвищення та зниження в'язкості олії небажано. У першому випадку підвищується тертя, збільшується температура деталей, що труться, у другому знижується несуча здатність масляної плівки, що сприяє зносу і підвищенню витрати масла на чад.

Як зазначалося вище, витрата картерних газів знаходиться у прямій залежності від витрати олії на чад. Отже, при старінні олії збільшуватиметься і кількість газів, що прориваються в порожнину картера.

Також автор зазначає, що зі зростанням зношеності циліндропоршневої групи спостерігається не тільки швидша зміна фізико-хімічних властивостей олії (вміст домішок, в'язкість), але й значно швидше втрачають свою ефективність присадки в олії. Так погіршується ефективність дії миючих компонентів (швидке спрацьовування лугів), антиокислювальні та антикорозійні властивості олії також погіршуються.

Використання фізико-хімічних показників масла в умовах рядової експлуатації як показники технічного стану деталей двигуна утруднено з ряду причин. Однак збільшення витрати картерних газів може бути непрямим показником «старіння» картерного масла.

Зазначимо, що в роботі [135] вказується, що тепловий режим, сорт масла, рівень його в картері і тривалість роботи мають незначний вплив на прорив газів, і їх практично можна знехтувати. У зв'язку з суперечливістю даних потрібне проведення дослідної перевірки.

3.8. Прогнозування залишкового ресурсу деталей циліндро-поршневої групи

Виходячи з експериментальних спостережень відомо, що витрата картерних газів спостерігається у нових двигунів. А зі збільшенням напрацювання двигуна витрата картерних газів зростає. Дані твердження можна записати у вигляді формули [135]:

$$Q_m = Q_0 + A_i \cdot T_m^{\alpha} \quad (3.7)$$

де Q_m - поточне значення витрати картерних газів;

Q_0 - значення витрати картерних газів нового двигуна;

A_i - Швидкість збільшення витрати картерних газів від напрацювання, для кожного типу двигуна він свій;

T_m - поточне напрацювання двигуна;

α - показник ступеня, є однаковим всім реалізацій аналізованого параметра.

Показник ступеня функції зміни параметра для витрати газів, що прориваються в картер, дорівнює 1,3 [147].

Ставлення поточного напрацювання до граничної T_m / T_{np} характеризує ступінь зношування циліндропоршневої групи двигуна, тобто. якою мірою вичерпано її моторесурс, якщо він обмежений гранично допустимим значенням витрати картерних газів і якщо швидкість деталей прийняти незмінною:

$$\frac{T_m}{T_{np}} = \sqrt{\frac{Q_m - Q_0}{Q_{np} - Q_0}} \quad (3.8)$$

Це відношення порівняно з відношенням зносів деталей, що визначають збільшення витрати картерних газів, але дана формула не враховує ймовірність роботи безвідмовної. На підставі цього для визначення зносу циліндропоршневої групи за вимірними величинами витрати картерних газів можна користуватися формулою:

$$\delta = \sqrt{\frac{Q_m - Q_0}{Q_{np} - Q_0}} \quad (3.9)$$

де δ - частка зношеності деталей циліндропоршневої групи;

$Q_{пр}$, $Q_{гр}$, Q_0 – поточний, граничний, вихідний витрати картерних газів.

Якщо необхідно визначити моторесурс циліндропоршневої групи двигунів з урахуванням експлуатації в тих самих умовах, можна використовувати формулу:

$$M_{ост} = M_{исп} \cdot \left(\frac{1}{\delta} - 1 \right), \quad (3.10)$$

де $M_{ост}$ – моторесурс двигуна, що залишився;

$M_{исп}$ – використаний моторесурс двигуна, встановлений за показаннями мотолічильника або будь-яким іншим способом.

Прогнозування щодо реалізації

При відомому напрацюванні $T_{мех}$ від початку експлуатації до початку контролю та

одному вимірюваному значенні параметра витрати картерних газів на момент контролю залишковий ресурс ЦНГ можна визначити за формулою [147]:

$$T_{ост} = T_{мех} \left[\left(\frac{Q_{пр}}{\Delta Q_{изм}} \right)^{\gamma_{\alpha}} - 1 \right] \quad (3.11)$$

де $Q_{пр}$ – граничне відхилення витрати картерних газів;

M – вимірне відхилення параметра витрати картерних газів.

Користуючись цією формулою треба пам'ятати, що зміна параметра не є гладкою функцією, тому визначення за цією формулою середнього залишкового ресурсу є наближеним, у зв'язку з чим залишковий ресурс розраховують із заданою довірчою ймовірністю. Для цього використовують формулу: де y_2 – квантиль нормального розподілу, що характеризує задану ймовірність безвідмовної роботи елемента машини;

$$T_{ост} = T_{мех} \left[\left(\frac{Q_{пр}}{\Delta Q_{изм}} \right)^{\gamma_{\alpha}} - 1 \right] - B(y_2) \quad (3.12)$$

де y_2 – Середнє квадратичне відхилення похибки прогнозування.

Ймовірність безвідмовної роботи з урахуванням квантилю визначають за

таблицею 3.3 нормального розподілу.

У процесі експлуатації через певні проміжки часу (напрацювання) можливе проведення контрольних вимірів витрати картерних газів, зі збереженням даних кожного виміру, а ще краще відображення у вигляді графіка.

Такий графік дозволить безперервно та найбільш правильно контролювати протікання зношування циліндропоршневої групи двигуна. У цьому випадку завжди можна розрахувати ресурс двигуна, що залишився, або при виникненні визначити передчасну несправність. Так залягання кілець або глибокі задираки

дзеркала циліндрів призводять до різкого підвищення витрат картерних газів.

Таблиця 3.3 – Залежність ймовірності безвідмовної роботи від квантилю нормального розподілу [147]

| Ймовірність | Квантиль | Ймовірність | Квантиль | Ймовірність | Квантиль |
|-------------|----------|-------------|----------|-------------|----------|
| 0,75 | 0,674 | 0,87 | 1,126 | 0,980 | 2,054 |
| 0,76 | 0,706 | 0,88 | 1,175 | 0,990 | 2,326 |
| 0,77 | 0,739 | 0,89 | 1,227 | 0,991 | 2,366 |
| 0,78 | 0,772 | 0,90 | 1,282 | 0,992 | 2,409 |
| 0,79 | 0,806 | 0,91 | 1,341 | 0,993 | 2,457 |
| 0,80 | 0,842 | 0,92 | 1,405 | 0,994 | 2,502 |
| 0,81 | 0,878 | 0,93 | 1,476 | 0,995 | 2,576 |
| 0,82 | 0,915 | 0,94 | 1,555 | 0,996 | 2,652 |
| 0,83 | 0,954 | 0,95 | 1,645 | 0,997 | 2,748 |
| 0,84 | 0,994 | 0,96 | 1,751 | 0,998 | 2,878 |
| 0,85 | 1,036 | 0,97 | 1,881 | 0,999 | 3,090 |
| 0,86 | 1,080 | 0,975 | 1,960 | 0,9999 | 3,719 |

Використовуючи розрахунки за даними формулами, можна оцінювати технічний стан без розбирання і моторесурс циліндропоршневої групи.

Прогнозування середньої статистичної зміни параметра

Залишковий ресурс при прогнозуванні середньої статистичної зміни параметра визначають як різницю між середнім і фактично використуваним ресурсами:

$$T_{ост} = T_{ср} - T_{факт}.$$

(3.13)

Залишковий ресурс циліндропоршневої групи можна оцінити за монограмою (рисунок 3.2). Значення ліній у верхній частині монограми

відображають значення залишкового ресурсу, нижня горизонтальна шкала

відображає значення витрати картерних газів. Послідовність роботи з

монограмою наступна: спочатку з технологічних карток визначають номінальне

значення витрати картерних газів для марки двигуна, якому оцінюють

залишковий ресурс. Вибравши табличне значення, подумки проводять

вертикальну лінію до з'єднання з лінією 100% ресурс. Значення витрати

картерних газів, виміряні дослідним шляхом, доводять до горизонтальної лінії,

що проходить через точку перетину лінії 100-відсоткового ресурсу та

номінального значення. Найближча лінія ресурсу з точкою перетину виміряного

значення та горизонтальною відображає залишковий ресурс Ц11Г. Ця гістограма

варта швидкої оцінки залишкового ресурсу за умов експлуатації, без додаткових

розрахунків, тому вона спрощена і враховує довіри ймовірність, тобто, похибка

визначення може бути більш $\pm 5\%$.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

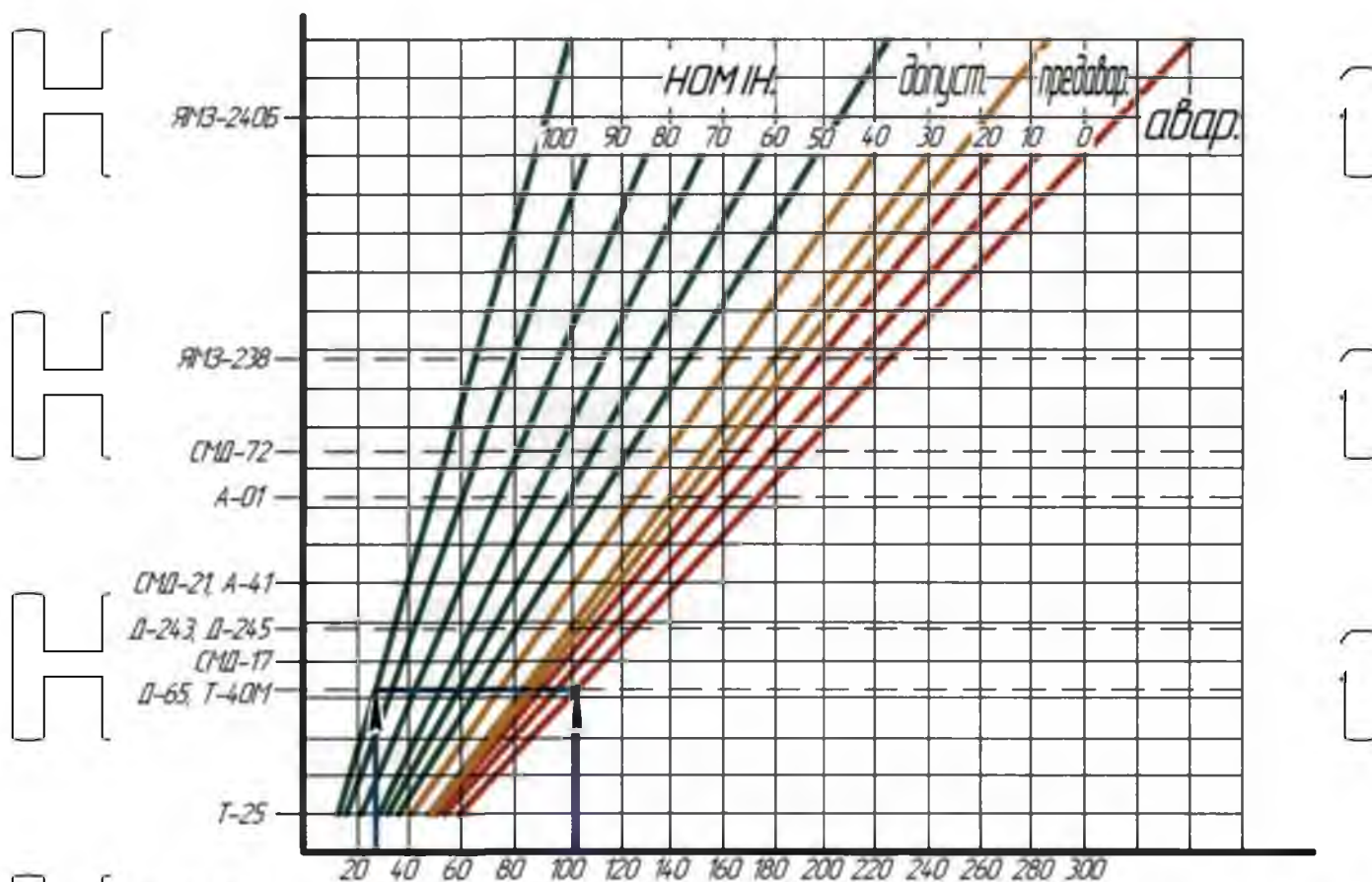


Рисунок 3.3 – Номограма залишкового ресурсу за значенням витрати картерних газів

При виборі подальших практичних процесів при отриманні значень залишкового ресурсу циліндропоршневої групи з витрат картерних газів можна мотивуватися розподілом стриманих результатів.

Якщо залишковий ресурс циліндропоршневої групи $T_{ост}$ знаходиться в діапазоні 100...80%, продовжується подальша експлуатація. Якщо залишковий ресурс повністю вичерпаний ($T_{ост} < 0$), бажано проведення капітального ремонту, навіть якщо загальний стан двигуна є задовільним, оскільки його експлуатація в першу чергу економічно недоцільна і велика ймовірність аварії.

Якщо залишкова напрацювання $T_{ост}$ входить у діапазон значень 20...0%, є кілька варіантів дій:

1 Відправлення до капітального ремонту. Здійснюється у разі незадовільного загального технічного стану двигуна наявності характерних

стуків, шумів, підвищена вібрація, нерівномірність роботи, димлення, суттєве зниження потужності, несправності та поломки інших елементів та агрегатів двигуна, а також частих поломок.

2 Подальша експлуатація при хорошому технічному стані всіх систем двигуна без застосування додаткових позапланових робіт.

3 При задовільній роботі проведення технічного обслуговування двигуна (ТО-2, ТО-3) з регламентованими регулюваннями та зміною робочих рідин та експлуатація до вичерпання залишкового ресурсу.

3.9 Висновки з третього розділу

З розглянутого матеріалу розділ 3 можна зробити такі висновки:

1 Витрата картерних газів як діагностичний параметр, що побіжно характеризує технічний стан циліндропоршневої групи цілком, не визначає конкретний вид несправності. У зв'язку з його малою трудомісткістю даний параметр можна віднести до експрес-діагностування - простого та швидкого, але мало інформативного методу оцінки.

2 Витрата картерних газів залежить тільки від технічного стану ЦПП, а й від низки чинників стану двигуна: навантаження, температури, режиму роботи; ступеня розкладання олії. Різні підходи теоретичної оцінки характеру цих впливів дають суперечливі дані. Тому найбільше простим і надійним способом у разі є дослідження їх у практиці.

3 Так як витрата картерних газів залежить від безлічі факторів, вивести формулу, яка пов'язує їх разом вкрай складно. Виходом у разі є розрахунок емпіричної формули за досвідченими даними.

4 За витратою картерних газів оцінюється технічний стан циліндропоршневої групи - одного з основних елементів, що визначають ресурс двигуна. За даним параметром доцільно проводити оцінку залишкового ресурсу та прогнозувати залишкове напрацювання двигуна.

РОЗДІЛ 4 РЕЗУЛЬТАТИ І АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1 Результати експериментальних досліджень впливу факторів, що впливають на параметри картерних газів

Дослідження проводилися згідно з методичними вказівками, наведеними в розділі 2. Експериментальні дослідження факторів, що впливають на параметри картерних газів, показали наступне:

Вимірювання витрати картерних газів двигунів з різним напрацюванням та вимірюванням мікрометражу зносів гільз циліндрів

На рисунках 4.1 та 4.2 представлені залежності витрати картерних газів від напрацювання двигуна та мікрометражу зношування гільз циліндрів. З малюнків видно, що зі зростанням напрацювання та збільшенням зносу деталей ЦПГ за лінійною залежністю зростає витрата картерних газів. Це дозволяє визначати витрату картерних газів як діагностичний параметр, що безпосередньо характеризує технічний стан деталей циліндропоршневої групи, що відповідають за здатність ущільнювати.

Залежність має постійний зростаючий характер, що дозволяє прогнозувати за цим параметром залишковий ресурс двигуна з застереженням обліку чинників умов і режимів роботи двигуна, які впливають даний параметр. Показник ступеня функції вимірювання параметра дорівнює 1,3, що відповідає характеру кривих зміни параметра. Характер зміни відповідає описаним у літературі [47], це показує адекватність проведених нами вимірів.

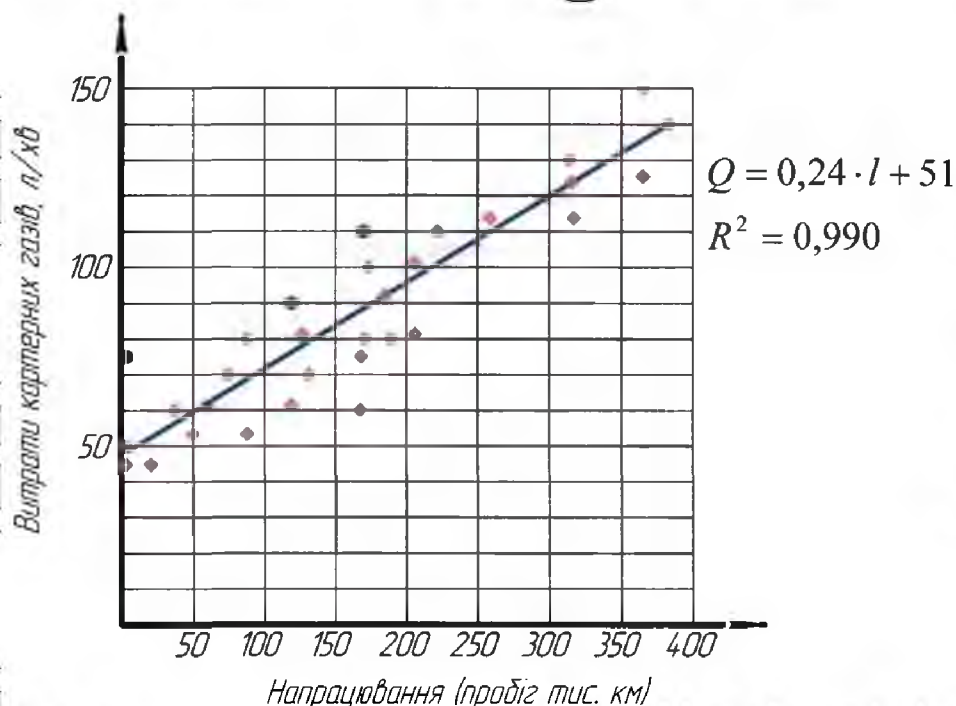


Рисунок 4.1 - Залежність витрати картерних газів від напрацювання (пробігу) двигунів ЯМ3-238

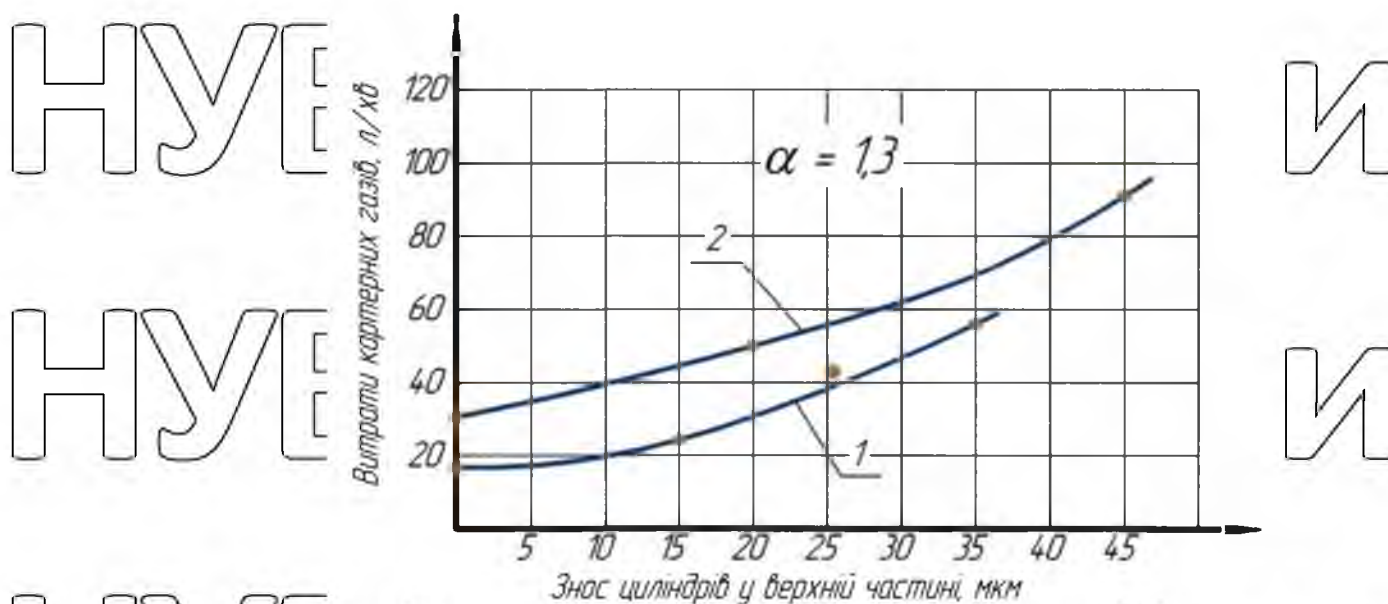


Рисунок 4.2 Залежність витрати картерних газів від збільшення зносу верхньої частини гільз циліндрів двигунів.

Вплив якості моторної олії на витрату картерних газів

Витрата картерних газів зростає при "старінні масла" в картері двигуна Д-240 (рисунок 4.3). У початковий період роботи олії витрата картерних газів не зростає, але з середини терміну служби починає експоненційно зростати, і від початкових 40 л/хв зростає до 60 л/хв, збільшується на 50%, що є дуже значною зміною. Характер зміни витрати картерних газів від якості (в'язкості, маслянистості та ін.) Дещо відрізняється від даних, отриманих іншими дослідниками [99, 35]. Відмінності пояснюються тим, що моделювання процесу старіння в нашому випадку не зовсім відповідає нормальному процесу. З іншого боку, отримані значення свідчать, що доливання свіжої олії в картер при чаді не впливає скільки-небудь істотно на якість олії, т.к. його частка у загальному обсязі незначна.

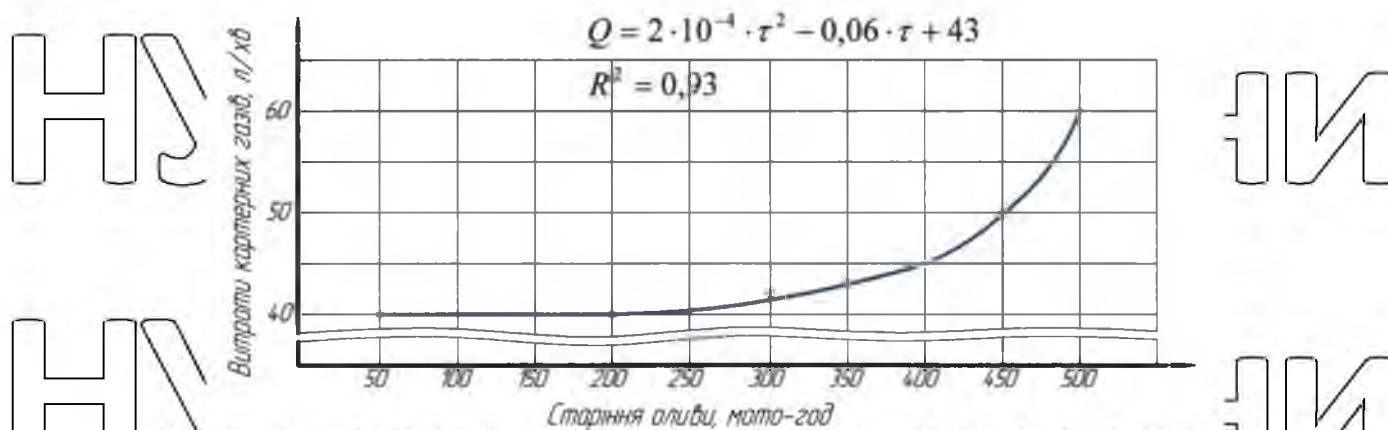


Рисунок 4.3 Залежність впливу якості олії на витрату картерних газів.

Дослідження впливу розкладання (старіння) олії на двигунах ЯМЗ-238 підприємства 1-го автокомбінату показало значне зниження витрати картерних газів при зміні олії (рисунок 4.4). Для цього під час проведення чергового ТО проводилися вимірювання картерних газів до та після заміни моторного масла.

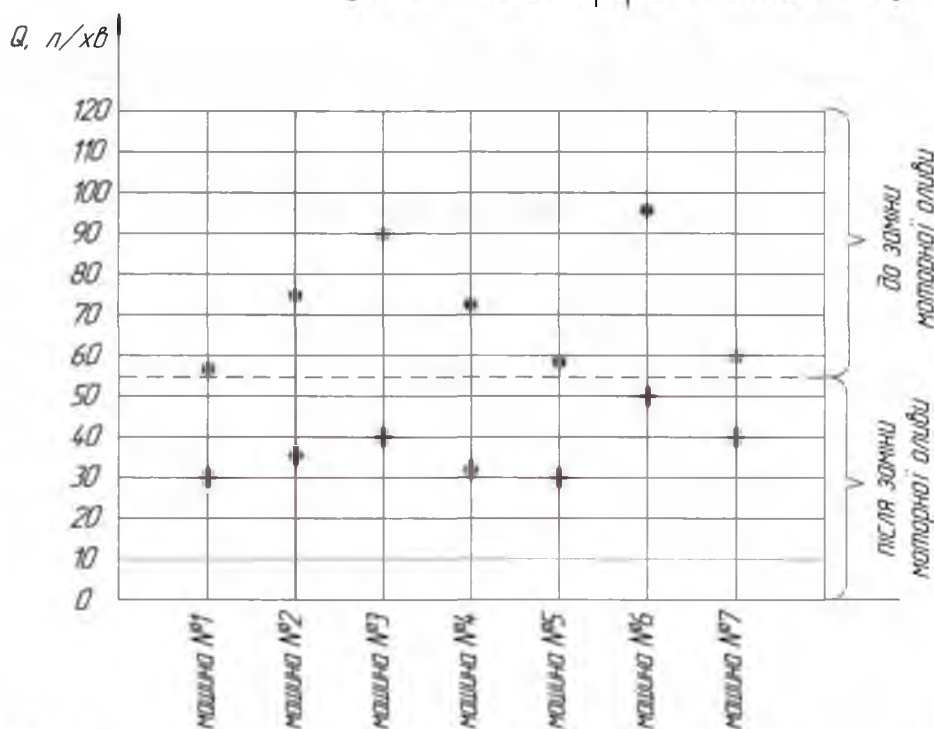


Рисунок 4.4 - Зміна значення витрати картерних газів при зміні моторної оливи.

Достовірно встановлено, що у ряді випадків при зміні моторної олії витрата картерних газів змінюється більш ніж у 2 рази, що свідчить про істотний вплив якості олії на витрату картерних газів. Виходить, що свіже моторне масло, краще утримує на стінках гільз циліндра, ніж відрацьоване, ущільнює пару паричень - кільце - циліндр і перешкоджає прориву відпрацьованих газів в порожнину картера двигуна. Тому надостовірніші відомості про технічний стан ЦПГ за параметрами картерних газів можна отримати після проведення ТО-2.

Можна дійти невтішного висновку, що з діагностуванні циліндропоршневої групи двигуна за параметром об'ємного витрати картерних газів необхідно враховувати якість моторного масла.

Вимірювання картерних газів від прогріву двигуна

Встановлено, що при прогріванні двигуна збільшується об'ємна витрата картерних газів. На рис 3.5 відображені результати експериментів вимірювань витрати картерних газів залежно від прогріву охолоджувальної рідини, проведених за інших рівних умов (постійні обороти двигуна, відсутність навантаження) на обкагочно-гальмівному стенді з двигуном Д-240. За рівнем прогріву рівномірно зростає витрата картерних газів.

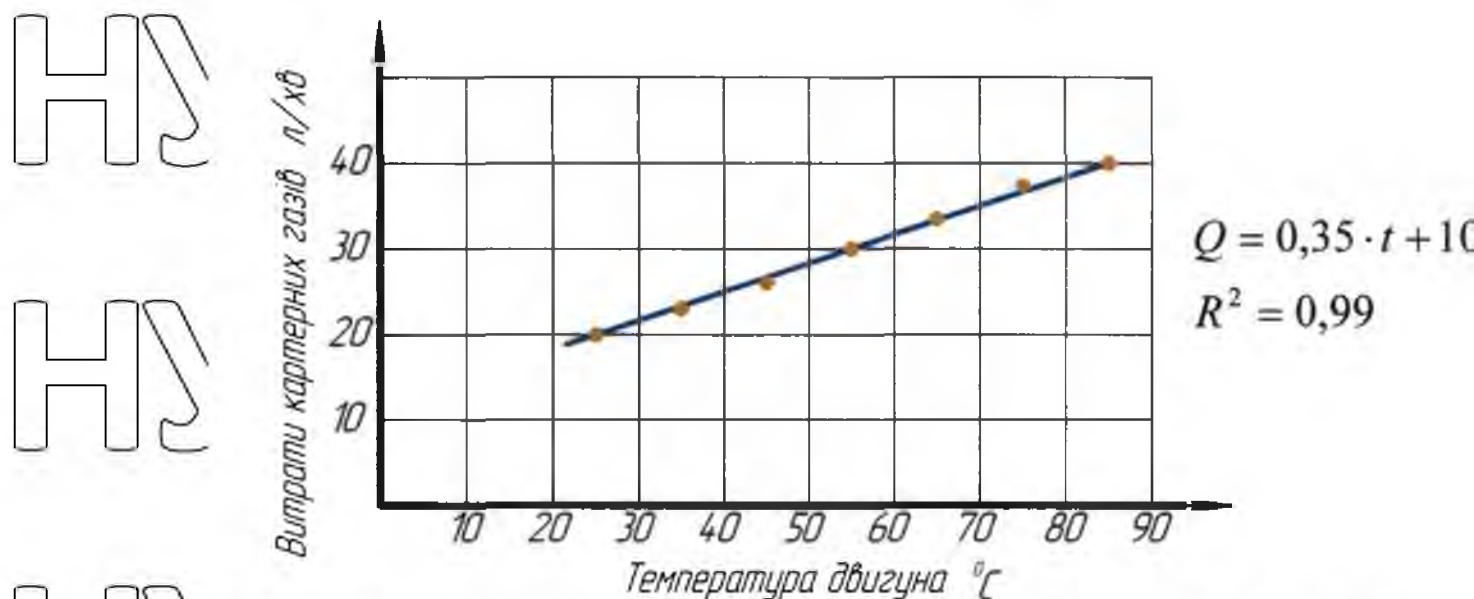


Рисунок 4.5 - Залежність витрати картерних газів від температури двигуна Д-240.

Відповідно до рис 4.5 зі збільшенням температури зростає і витрата картерних газів за збереження постійними інших властивостей.

Аналогічні дослідження було поставлено і інших двигунах в експлуатаційних умовах (Д-2, ЯМЗ-238), результати виявилися схожими (рисунки 3.6, 3.7).

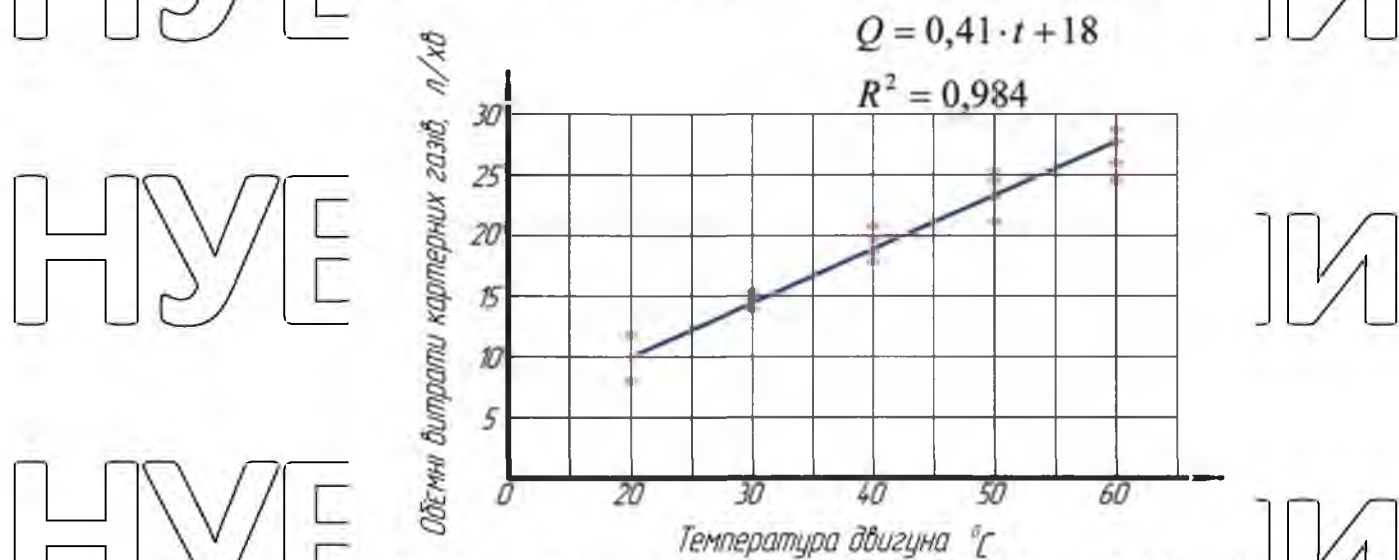


Рисунок 4.6 - Зміна витрати картерних газів від температури двигуна Д-21

НУБІП України

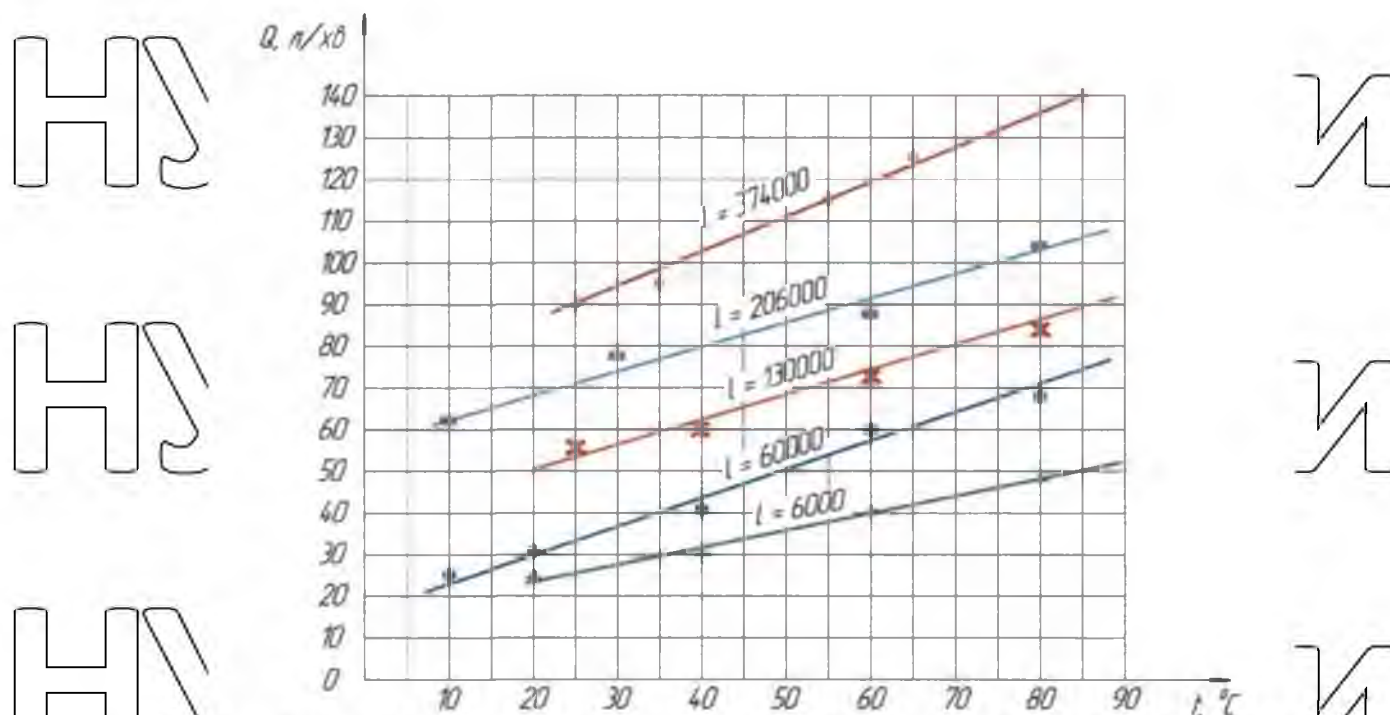


Рисунок 4.7 - Зміна об'ємної витрати картерних газів з поступового прогріву двигунів ЯМЗ-238 різного напрацювання (пробіг l , км).

Залежність витрати картерних газів від температури завжди зростає лінійно. Відношення збільшення витрати газу dQ до збільшення температури dt для кожної конкретної машини залишається постійним: $\frac{dQ}{dt} = const$. З чого можна

зробити висновок, що при діагностуванні при температурному режимі значення витрати картерних газів, за інших рівних умов, характеризуватиме технічний стан ЦПГ.

Також встановлено, що залежність витрати картерних газів від температури тим сильніша, тим більше напрацювання двигуна. Так при пробігу машини 6000 км зі зміною температури двигуна від 30 до 85°C витрата картерних газів збільшується на 22 л/хв, а при пробігу 374000 км при тій же зміні температури витрата збільшується на 43 л/хв.

У загальному вигляді залежність витрати картерних газів від температури та напрацювання (пробігу) двигунів одного типорозміру, отримана з обробки експериментальних даних.

Температуру необхідно враховувати при діагностуванні ЦПГ у зв'язку з тим, що нормативні значення за даним параметром приведені до прогрітої до 85...95°C рідини в системі охолодження двигуна, а в реальних експлуатаційних умовах не завжди вдається досягти необхідного температурного режиму. Лікне проведення вимірювань проводиться на непрогрітому двигуні, необхідні вносити відповідні поправки для приведення їх з нормативними значеннями за

даним параметром.

Використовуючи отриману залежність зміни витрати від температури картерних газів, можна проводити експрес-діагностування без виведення дизеля на номінальний тепловий режим (85...95 °С), оскільки на практиці при

Проведенні процесу діагностування ЦНД існують значні складності виведення в номінальний тепловий режим дизеля без навантаження, особливо в холодну пору року.

Вимірювання витрати картерних газів від навантаження на двигун

Проведені вимірювання витрати картерних газів від різних значень моменту, що крутить, двигуна показали, що при збільшенні навантаження на двигун зростає і витрата картерних газів (рисунок 4.8). Проте збільшення менш велике (у разі 50%) проти описом у літературі [10, 24, 27, 35]. Так у роботах [24, 35] збільшення витрати при номінальному навантаженні на двигун зростає в 2 рази в порівнянні зі значеннями, отриманими без навантаження двигуна. Однак варто відзначити, що в цих роботах досліди ставилися на карбюраторних двигунах, і тому різні значення підвищення витрати газів для дизельних і карбюраторних двигунів цілком нормальні. Але характер зміни витрати картерних газів від навантаження скрізь однаковий.

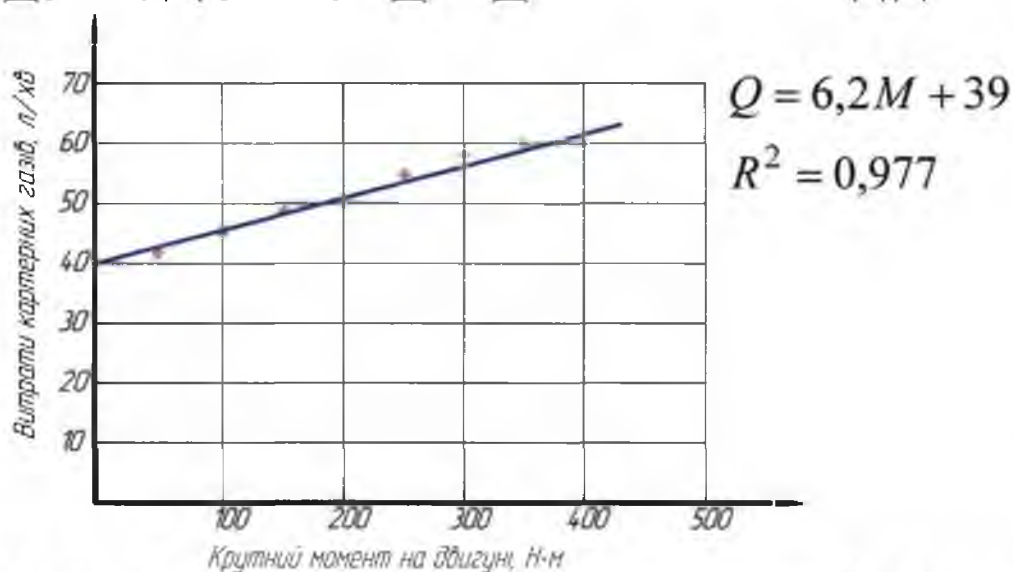


Рисунок 4.8 Залежність витрати картерних газів від навантаження на двигун.

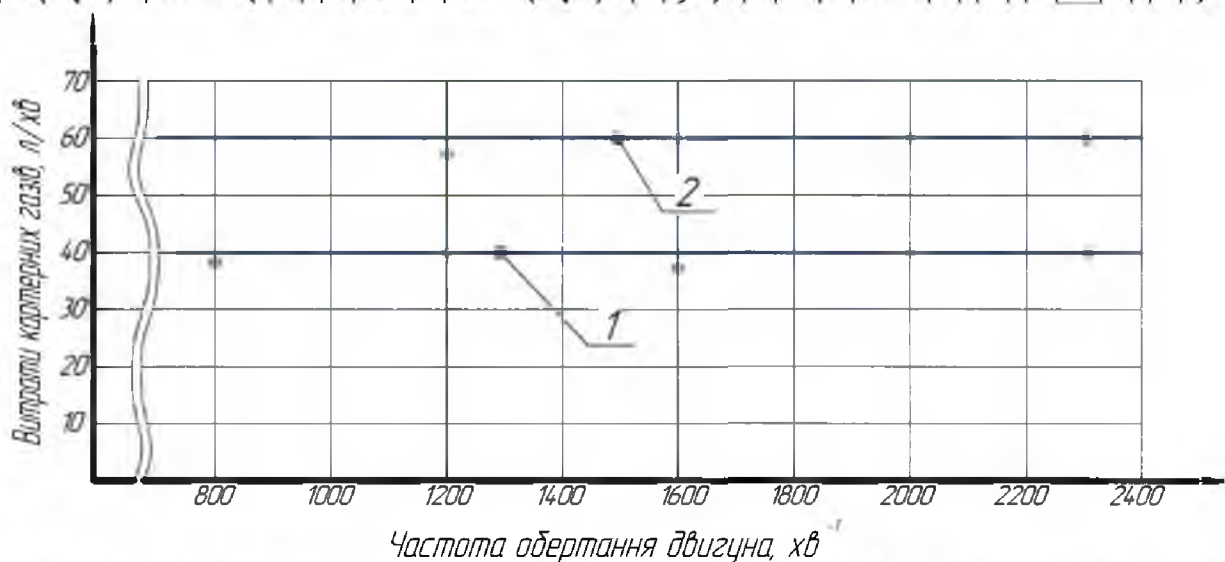
З графіка видно, що характер зміни витрати картерних газів, що вимірюються від збільшення крутного моменту на валу двигуна прямолінійний - зі збільшенням навантаження зростає витрата картерних газів. Однак під час проведення діагностування вкрай проблематично проводити навантаження двигуна, тому виміри проводяться без навантаження.

Вимірювання витрати картерних газів на різних швидкісних режимах

роботи двигуна

Вимірювання витрати картерних газів на різних частотах обертання показали, що він не залежить від частоти обертання двигуна (рисунок 4.9). При зміні частоти обертання двигуна витрата картерних газів залишалася постійною.

Даний досвід ставився на двигунах Д-240, Д-21, ЯМЗ-238, і скрізь результати були однакові, у зв'язку з чим можна зробити висновки, що для більшості дизельних двигунів (виключення ми розглянемо пізніше) витрата картерних газів не залежить від оборотів двигуна.



- 1 – витрата картерних газів без навантаження на двигун;
2 – витрата картерних газів з навантаженням в 400 Н-м

Рисунок 4.9 - Витрата картерних газів на різних частотах обертання двигуна.

Вимірювалися на нестационарних режимах роботи двигуна. У режимі розгону відбувалося значне збільшення миттєвої вимірюваної витрати картерних газів (у 2.3 рази) порівняно зі значеннями, виміряними на постійних частотах обертання (таблиця 4.1).

Таблиця 3.1 – Витрата картерних газів на режимах розгону двигуна

| № п/п | Початкова частота обертання, хв^{-1} | Кінцева частота обертання, хв^{-1} | Час зміни, с | Кутове прискорення, рад/с^2 | Значення максимальної миттєвої витрати картерних газів, л/хв |
|-------|---|---|--------------|--------------------------------------|--|
| 1 | 1000 | 2300 | 3 | 7,2 | 103 |
| 2 | 800 | 2200 | 5 | 4,6 | 82 |
| 3 | 1000 | 2200 | 7 | 2,8 | 65 |
| 4 | 1000 | 2100 | 7 | 2,6 | 60 |
| 5 | 900 | 2300 | 10 | 2,3 | 55 |

На рис 4.10 графічно подано залежність миттєвого максимального

значення витрати картерних газів від кутового прискорення двигуна.

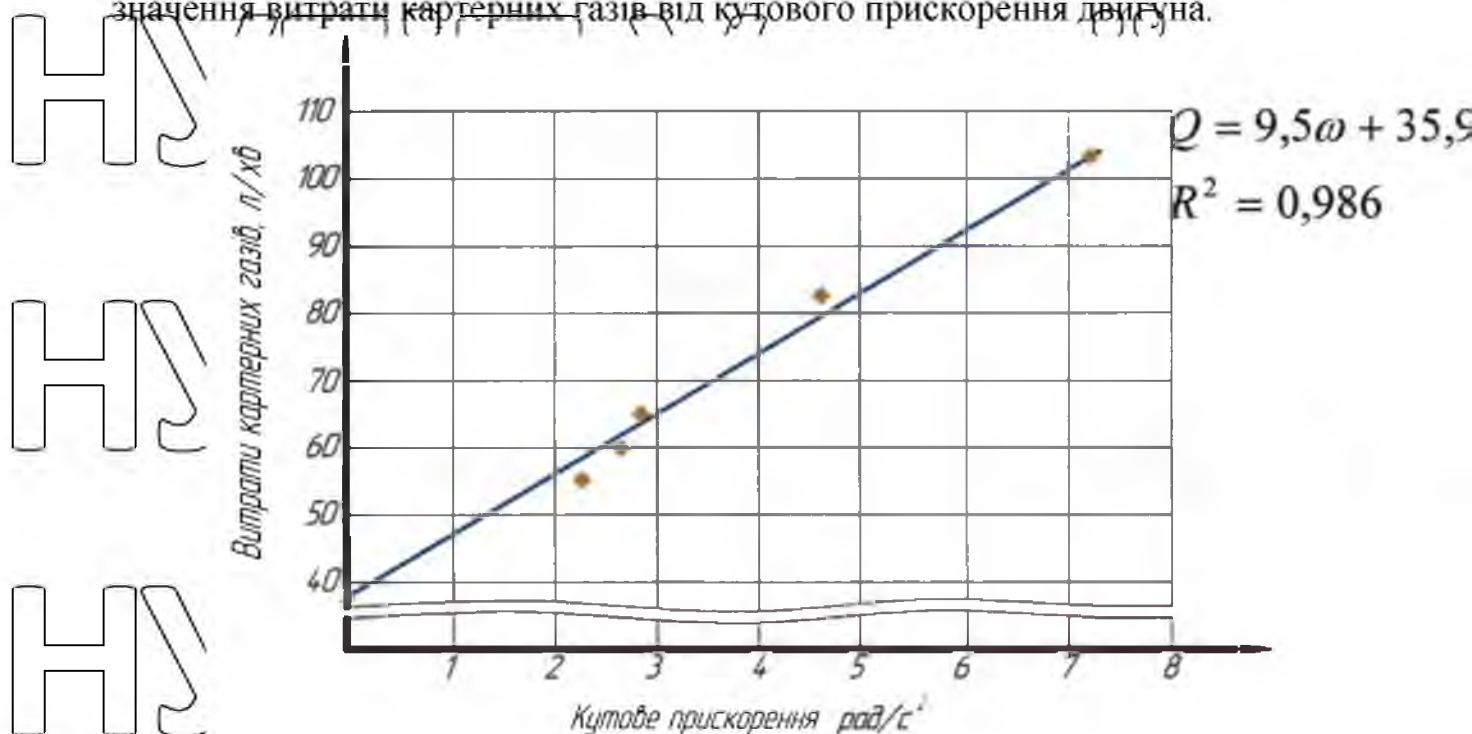


Рисунок 4.10 – Залежність миттєвого максимального значення витрати картерних газів від кутового прискорення двигуна.

Пояснити це тим, що на режимі розгону двигун створює навантаження інерцією мас деталей двигуна не коректно, оскільки при навантаженні двигуна крутним моментом, що перевищує навантаження інерційних мас, миттєва витрата картерних газів так значно не зростала (рисунок 4.8). Тому ймовірною причиною цього можна вважати різке збільшення палива, що подається в циліндри, що збільшує робочий тиск в циліндрах і відповідно прорив газів в порожнину картера двигуна.

Виходить, що при швидкісних режимах роботи двигуна витрата картерних газів може коливатися у великих межах, і дані показання не можна приймати за діагностичні. Діагностування можливе тільки на швидкісних режимах, причому сама частота обертання двигуна істотної ролі не відіграє.

Тиск газів у порожнині картера двигуна

Досліджено процес зміни параметрів тиску газів у дизельному двигуні. Цей параметр суттєво впливає на експлуатаційні характеристики дизеля і не завжди є наслідком зношеності циліндропоршневої групи. Надлишковий тиск у картері дизеля може зумовлюватися засміченістю системи вентиляції картера (сапуна), несправністю редукційного клапана системи рециркуляції картерних газів (двигуна з екологічним стандартом Євро 3 та вище), що веде до виникнення несправностей (продавлювання сальників та витоків моторного масла).

Так моторобудівним заводом (Тутаєвський моторний завод) як діагностичний параметр визначено тиск у картері двигуна. За їх даними, номінальний тиск для дизелів у картері двигуна потужністю до 450 кВт (двигуна марок ЯМЗ) повинен відповідати діапазону 80...150 Па. Тиск 500 Па та вище для більшості дизелів свідчить про необхідність проведення ремонту.

У процесі досліджень також було проведено вимірювання тиску та пульсації тиску газів у картері двигуна (рисунок 4.11). Як видно, тиск у справному двигуні Д-240 дуже мале (максимальне значення 3 Па).

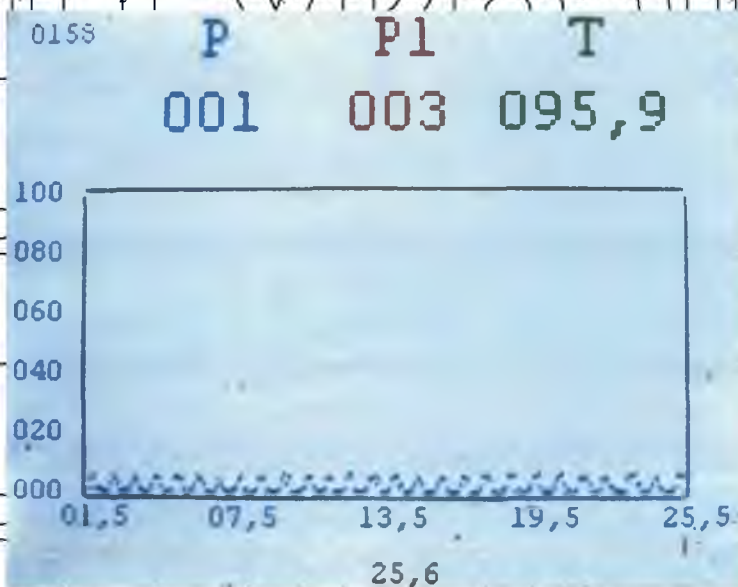


Рисунок 4.11 – Виміряні пульсації тиску в картері двигуна

Виміряні амплітуди пульсації тиску газів не відповідають пікам прориву газів з надпоршневого простору. Періодичність вимірної пульсації дорівнює $1,125 \text{ с}^{-1}$, у той час як частота оборотів була 2300 хв^{-1} , отже, частота пульсації від прориву газів повинна дорівнювати $33,3 \text{ с}^{-1}$, що на порядок більше отриманого результату. Виходить, що виміряні пульсації тиску в картері відображають зміну пульсації загального тиску газів в картері двигуна, викликані коливаннями об'єму простору картерного, а не проривом газів з надпоршневого простору в порожнину картера від кожного циліндра. Для вимірювань пульсації газів, викликані проривом через кільцеві ущільнення, необхідна система вимірювання зі збільшеною на порядок частоті очитування датчиків.

У ході експериментальних досліджень було виявлено, що несправності турбокомпресорів також впливають на витрату та тиск картерних газів. Підвищений тиск у картері двигуна – важливий показник несправностей циліндропоршневої групи та турбокомпресора.

Для виявлення несправного вузла, через який у картері двигуна підвищений тиск, була розроблена методика перевірки, на яку отримано патент. Якщо тиск підвищений і при збільшенні частоти обертання двигуна змінюється незначно ($\pm 5\%$), причина у підвищеному зносі ЦПГ, зрідка несправна система

вентиляції картера. Якщо зі збільшенням частоти тиск змінюється на 25 і більше відсотків, причина у значному зносі підшипників ТКР.

Крім того, виробнича перевірка двигунів, оснащених ТКР показала, що підвищена витрата картерних газів (тиску) також може бути викликана несправностями газорозподільного механізму. Впускні клапани, що закоксувалися або мають тріщини, навіть у закритому стані пропускають повітря, що нагнітається турбокомпресором у надпоршневий простір, звідки він через з'єднання поршень-кільце-циліндр надходить у картер двигуна. Збільшення витрати картерних газів при таких випадках було настільки високо, що видавлювало кришку маслозаливної горловини, і масло виривалося з маслозаливної горловини. Витрата картерних газів у таких випадках був настільки високий, і перевищував допустиме значення, що його не вдалося виміряти наявними засобами виміру. Варто відзначити, що зривалася кришка маслозаливної горловини, а не видавлювалися сальники, що суперечить ідеї автора [36] про якість герметичності ущільнювачів сальнику.

В результаті порівняння тиску картерних газів на різних швидкісних режимах роботи двигуна роблять висновок про технічний стан кутів двигуна, що діагностується. Допустимі межі зміни витрати та тиску в картері, що відповідають справному та несправному стану двигуна, необхідно встановлювати для кожного типу двигуна за результатами випробувань.

4.2 Прийняття рішень щодо результатів діагностування за параметрами картерних газів

Прийняття рішень за результатами діагностування виходить їх двох критеріїв: 1) ідентифікації впливу несправних вузлів (ЦПГ, ТКР, система вентиляції картера) на діагностичний параметр; 2) співвідношення отриманих значень діагностичного параметра з номінальними, допустимими та граничними значеннями. На основі приймається рішення подальших дій.

Варіанти винесення рішень на основі отриманих результатів виміру на прикладі двигуна ЯМЗ-238Б представлені в таблиці 4.6.

У разі отримання значень, що знаходяться за межами (між) зазначених нормованих значень, рішення приймається відповідно до загального технічного стану двигуна. Якщо проведене діагностування відповідає візуальній оцінці технічного стану двигуна загалом, необхідно провести оцінку інших діагностичних параметрів, характеризуючих технічний стан цих елементів.

Для більш точної та достовірної діагностики варто використовувати комплекс методів діагностування та на основі загальних отриманих результатів робити висновок про технічний стан ЦПГ та двигуна в цілому.

4.3 Оцінка часу, що витрачається на операції діагностування та вимірювання діагностичних параметрів

Попередня оцінка часу діагностування ЦПП ДВЗ приладом КІ-28292 розподіляється наступним чином:

- запуск та встановлення рівномірної роботи двигуна - 1... 3 хв;
 - відгвинчування кришки маслозаливної горловини та герметизація сапуна, отвори маслomorphicного шупа - 3...5 хв;
 - підготовка приладу (підключення живлення датчиків, перехідників) - 3...5 хв;
 - Вимір параметрів діагностування - 1... 2 хв;
 - Оцінка отриманих результатів - 1... 2 хв;
 - від'єднання датчиків, розгерметизація сапуна та отвори маслomorphicного шупа, встановлення кришки маслозаливної горловини на місце - 3...5 хв.
- Загальний час проведення діагностування - 11...23 хв (час розрахований з умов проведення діагностування однією людиною).

4.4 Рекомендації щодо доопрацювання елементів та структури КІ-28292

В результаті випробувань дослідного зразка КІ-28292 ДЕРЖСНІТІ були виявлені такі недоліки:

- 1 Мали місце відмови отримання інформації з датчиків, які пов'язані з неякісними з'єднаннями роз'ємів.
- 2 Відсутність функції визначення та відображення заряду акумулятора.
- 3 Мінімальна довжина приєднувальних проводів датчиків.
- 4 Для датчика температури потрібний твердий корпус.
- 5 Відсутність системи коригування нуля вимірювальних датчиків.
- 6 Слабка захищеність від бруду, пилу, вологи, механічного впливу.

4.5 Висновки з третього розділу

1 В ході дослідів отримано залежність витрати картерних газів крім технічного стану ЦН ' від таких факторів як температура двигуна, навантаження, якість моторного масла, режими роботи двигуна.

2 Параметр тиску картерних газів у двигунах із вільною системою вентиляції картерного простору мало інформативний. За пульсаціями тиску не можна визначити технічний стан відбільних циліндрів, оскільки спостерігається пульсація загального тиску в картері, викликане коливаннями обсягу простору картерного.

3 За параметрами витрати картерних газів можна визначити технічний стан як ЦП, а й ТКР, за його наявності. Для цього треба виміру витрати картерних газів проводитися на різних частотах обертання двигуна.

4 Отримано регресійну модель, що описує кореляційну залежність значень

витрати картерних газів від факторів умов та режимів роботи двигуна. Наведено приклад її використання для розрахунку нормативних значень витрати картерних газів при температурах двигуна, що не досягають номінального значення.

5 Наведено поетапний час проведення вимірювань витрати картерних газів, наведено рекомендації щодо доопрацювання приладу KI-28292 для вимірювання параметрів картерних газів.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

РОЗДІЛ 5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА РЕЗУЛЬТАТІВ РОБОТИ

У реальних умовах експлуатації значну кількість машин направляють у капітальний ремонт у той час, коли вони за своїм технічним станом потребують поточного ремонту, а іноді тільки операцій технічного обслуговування. Застосування засобів діагностування дозволяє за умов експлуатації скоротити на 30...40 % коефіцієнт охоплення капітальним ремонтом без зниження показників надійності машин.

Визначення потреб засобів технологічного оснащення є найважливішим завданням, що визначає ефективність процесу діагностування на підприємстві.

Від рівня технічної оснащеності діагностичними засобами контролю багато в чому залежить коефіцієнт технічної готовності машинно-тракторного парку. І

хоча діагностування не безпосередньо впливає на технічний стан машини, застосування правил призначення регульовальних або ремонтних робіт за результатами діагностування дозволяє підвищити надійність агрегатів машин в цілому шляхом запобігання відмов. Мета діагностування полягає у визначенні

технічного стану окремих елементів, виявленні причин несправностей та видачі рекомендацій щодо виконання необхідних операцій технічного обслуговування

та ремонту. За результатами діагностування даються рекомендації щодо необхідності регулювань, заміни та виду ремонту, усунення несправностей,

виявлених у процесі діагностування, знижує витрати під час експлуатації на підтримку техніки у працездатному стані на 15...25%, а коефіцієнт готовності

підвищується до 0,9 [61]. При цьому необхідно відзначити, що діагностичне обладнання має різну продуктивність, вартість і вимагає різних виробничих умов

застосування. [25]

Основними критеріями вибору з безлічі коштів одиничного є мінімум наведених річних витрат на його утримання та величина річних витрат від його недовантаження:

$$C+E \cdot K \rightarrow \min, \quad (5.1)$$

де C – собівартість виконання технологічного процесу діагностування, тис. руб.; E – нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень; K – капітальні вкладення, тис. грн.

Найефективнішими в цьому випадку будуть переносні засоби експрес-діагностування. Ціновий діапазон переносних засобів на порядок нижчий від

стаціонарних. Застосування таких діагностичних засобів не вимагає спеціалізованих приміщень, а застосування більшості засобів експрес-

діагностування можливе в експлуатаційних умовах (не вимагає навіть спеціально підготовленого майданчика). Тому застосування таких засобів

визначається мінімальними витратами. Основними суттєвими витратами при

використанні розробленого КІ-28292 ДЕРЖСНІТІ – діагностичного комплексу для визначення технічного стану циліндропоршневої групи будуть витрати на його придбання та щорічну перевірку його як засоби вимірювання.

Варто відзначити і техніко-економічну ефективність застосування удосконаленої технології діагностування циліндропоршневої групи за параметрами картерних газів.

Застосування технології дозволяє скоротити час підготовчих робіт перед процесом діагностування більш ніж 2 рази. Пов'язано це, перш за все, з тим, що відповідає необхідність прогрівати двигун до температури 80...95°C (температура охолоджуючої рідини та картерної олії при діагностуванні). Діагностування за новою технологією можливе і за температури 40...60°C, прогріти двигун до якої значно простіше і швидше. Облік технологією якості картерної олії (час напрацювання) у свою чергу робить метод оцінки циліндропоршневої групи з картерних газів більш точним і під час проведення позапланових діагностувань (не пов'язаних із проведенням ТО).

Ефективність технології полягає у підвищенні достовірності оцінки технічного стану на 10...20% та скороченні загального часу проведення діагностування на 30...50%.



Рисунок 5.1 – Структурна схема результатів роботи.

Як критерій обґрунтованості економічної ефективності використання технології діагностування циліндропоршневої групи двигунів за параметрами картерних газів вибрано можливе своєчасне достовірне визначення технічного стану з виявленням існуючих несправностей (відмов). Що зумовлює зниження простоїв через невиправданий капітальний ремонт двигуна. Або, іншими словами, критерієм обґрунтованості є повне використання ресурсу

циліндропоршневої групи двигуна, що не призводить до значних витрат експлуатації, що враховує зниження витрат пов'язаних із передчасним ремонтом двигунів.

Розрахунок техніко-економічної ефективності діагностування циліндропоршневої групи двигуна проводиться згідно з методичними рекомендаціями ГОСНИТИ «Методичні рекомендації та методи визначення фактичної та перспективної ефективності впровадження нової техніки та передових форм організації виробництва при ремонті та технічному обслуговуванні машин».

Впровадження технології та приладу діагностування дозволяє скоротити питомі витрати, спричинені передчасним необґрунтованим капітальним ремонтом двигунів.

Економічний ефект розраховується за умовами використання продукції за розрахунковий річний період. Сумарний ефект розраховується за формулою [144]:

$$\mathcal{E}_m = \left(\frac{Z_6}{W_6} - \frac{Z_0}{W_0} \right) \cdot W_0, \quad (5.2)$$

де \mathcal{E}_m – економічний ефект; Z_6 і Z_0 – вартісна оцінка витрат на обслуговування машини за базовим та розробленим варіантами; результати здійснення заходів; W_6 та W_0 – напрацювання машини за базовим та розробленим варіантами.

Індекс прибутковості (індекс прибутковості) є відношенням суми наведених ефектів до величини наведених капіталовкладень:

$$ИД = \mathcal{E}_m : \frac{K}{1 + E_n} \quad (5.3)$$

де K – одноразові капітальні вкладення придбання діагностичного комплексу; E_n – нормативний коефіцієнт ефективності ($E_n = 0,15$);

E_n – Оціночний коефіцієнт, що показує величину відшкодування за рік від суми витрачених коштів. У разі ринкової економіки E_n приймається рівної чи трохи більше банківської ставки за депозитними вкладеннями. При дипломне проектування $E_n = 0,15$. Оскільки капіталовкладення не дають ефекту, вони пов'язані, «заморожені» на період створення та освоєння нових виробів, інвестор втрачає щорічно від відволікання коштів з обороту 0,15 на рік від цих коштів.

Термін окупності (період повного відшкодування) – $T_{ок}$ представляє період від початку здійснення проекту до моменту, коли наростаючий інтегральний ефект повністю покриває капітальні вкладення.

$$T_{ок} = \frac{1}{ИД} \quad (5.4)$$

Як було зазначено вище, ефективність - це порівняння отриманого ефекту з виконаними витратами. Чисельно ефективність виражається ставленням величини одержуваного ефекту до суми витрат, які визначили можливість цього ефекту.

Вартісна оцінка витрат визначається як сума витрат на капітальний - $Z_{кр}$ проточний - $Z_{тр}$ ремонт та витрати на ТО - $Z_{то}$ за один рік.

$$Z = \frac{Z_{кр} + Z_{тр} + Z_{то}}{\tau} \quad (5.5)$$

де τ - швидка експлуатація машини.

Розрахунок напрацювання машини за рік за нормованого терміну експлуатації розраховуємо за формулою:

$$W = \frac{\sum_{i=1}^{\tau} k_w}{\tau} \cdot W_{cp}, \quad (5.6)$$

де k_w - Коефіцієнт напрацювання за роками;

W_{cp} - середнє напрацювання трактора на рік при повній його завантаженості.

Вихідні дані для економічної оцінки застосування нової технології на прикметі використання на тракторі МТЗ-82.

Таблиця 5.1 - Вихідні дані

| № п/п | найменування показника | Базовий варіант | Дослідний варіант |
|-------|---|-----------------|-------------------|
| 1 | Вартість трактора МТЗ-82, грн.* | 780000 | |
| 2 | Термін експлуатації, років | 6 | 7 |
| 3 | Витрати капітальний ремонт двигуна, грн.* | 65000 | 65000 |
| 4 | Витрати поточний ремонт, грн.** | 21060 | 23800 |
| 5 | Витрати технічне обслуговування, грн.** | 15600 | 17300 |
| 6 | Сума коефіцієнтів напрацювання за роками** | 6,505 | 7,465 |
| 7 | Середнє напрацювання трактора на рік, мото-год.** | | 1264 |
| 8 | Вартість діагностичних засобів, грн. | 17000 | 30000 |

- дані на серпень 2023 року

* - Дані взяті з джерела [45].

Річний економічний ефект від впровадження технології діагностування циліндропоршневої групи за параметрами картерних газів із застосуванням КІ-

28292 на прикладі трактора МТЗ - 82 склав 21417 грн/рік, термін окупності при використанні на один трактор 1,2 роки.

За аналогічною методикою розрахунку річний економічний ефект застосування запропонованої технології для різних марок тракторів наведено у таблиці 5.2. Розрахунок застосований до тракторів, які використовують повне річне напрацювання.

Таблиця 5.2 – Річний економічний ефект для різних марок тракторів

| Марки тракторів | Двигуни | Е, на 1 трактор, тис. грн. |
|-----------------|--------------|----------------------------|
| МТЗ-80, 82 | Д-240 | 21 |
| МТЗ – 80, 1 | Д-243, Д-245 | 23 |
| К-700, 701 | ЯМЗ-238НБ | 45 |
| ХТЗ-150 | ЯМЗ-240Б | 45 |
| Т-25 | Д-21А, Д-144 | 5 |
| ЛТЗ – 55 | Д-65Н | 12 |
| ДП - 75, ВТ-100 | А-41 | 32 |
| МТЗ -1221 | Д-260Т | 38 |

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

ОСНОВНІ ВИСНОВКИ І РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ

1 Проведені дослідження підтвердили, що циліндропоршнева група є основним елементом, що визначає ресурс і міжремонтне напрацювання двигуна, на яку припадає до 20% всіх відмов. Порівняння різних методів діагностування циліндропоршневої групи дизеля, проведених за загальноприйнятою методикою, показує техніко-економічні переваги оцінки технічного стану параметрів картерних газів. Підтверджено, що оціночними параметрами картерних газів є витрата та тиск газів, що прориваються в порожнину картера.

2 Встановлено, що експлуатаційні чинники роботи дизеля впливають величину витрати картерних газів. Дослідженнями підтверджено, що при прогріванні дизеля від температури навколишнього середовища до номінальної витрати картерних газів зростає в 1,5...2,5 рази. При доведенні навантаження до номінальної витрати збільшується на 40...45% проти холостим ходом. У той же час заміна картерної олії, яка відпрацювала свій ресурс, на нове знижує витрати газів у 1,8...2,2 рази. Ці параметри не враховувалися існуючою технологією, що часто призводило до помилок оцінки технічного стану ЦПГ. Ці ознаки дозволили підвищити точність діагностичного параметра розробки електронного приладу для вимірювання картерних газів.

3 Виявлено, що частота обертання колінчастого валу дизеля не впливає на зміну витрати та тиску картерних газів. На режимі розгону витрата картерних газів зростає залежно від кутового прискорення валу двигуна 1,5...3,5 рази. Як показав аналіз, використання динамічного режиму при моделюванні навантажувального вимірювання параметрів картерних газів неприйнятним, оскільки величини витрати картерних газів при них різні.

4 Встановлено, що зміна параметрів картерних газів впливає як циліндропоршнева група, а й системи вентиляції картера, турбокомпресора, клапанів газорозподільного механізму. Це не враховувалося в раніше розробленій та застосовуваній на практиці технології діагностування. На підставі проведених досліджень розроблено методику ідентифікації несправного вузла, що відрізняється від раніше застосовуваної можливістю обліку додаткових факторів, що впливають на підвищення точності вимірювання картерних газів. На даний спосіб отримано патент на винахід №2011130425, в основу якого некладено спосіб вимірювання витрати та тиску картерних газів на різних частотах обертання колінчастого валу дизеля.

5 На основі статистичних даних проведених досліджень за стандартною методикою регресійного аналізу розроблено математичну модель кореляційної залежності різних факторів, умов та режимів роботи двигуна на витрату картерних газів. За цією моделлю витрата картерних газів залежить від напрацювання та температури двигуна, навантаження на нього, а також від

напрацювання картерної оливи.

6 За розробленою моделлю розраховані номінальні, допустимі та граничні значення параметрів витрати картерних газів на теплових режимах роботи дизеля, що відповідають нижній температурній межі нормальної експлуатації. Використання цієї моделі з урахуванням запропонованих факторів дозволяє за витратою картерних газів прогнозувати напрацювання дизеля.

7 В результаті проведених досліджень удосконалено технологію діагностування циліндропоршневої групи дизельного автомобільного та тракторного двигуна за параметрами картерних газів. Відмінною особливістю технології є можливість проведення вимірювань за температури 40...60°C, що скорочує загальний час проведення діагностування на 30...50%. Як діагностичний параметр використовується не тільки витрата, а й тиск картерних газів. Розроблено рекомендації щодо обліку впливу на величину картерних газів турбокомпресора та системи вентиляції картера, що підвищує достовірність оцінки технічного стану на 10...20%.

8 Економічний ефект від запровадження розробленої технології оцінки технічного стану ЦПГ досягається з допомогою скорочення трудомісткості процесу, коли він підвищується достовірність діагностування. Розрахунковий річний економічний ефект від використання технології діагностування за параметрами картерних газів із застосуванням КІ-28292 ДЕРЖСНПТИ при повній завантаженості техніки на рік на один трактор МТЗ - 82 становить 21,4 тис. грн. (У цінах 2023р.).

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- 1 Абащкін, В.А. Регулювання тракторів [Текст]. - М.: [КОЛОС], 1964. - 287с.
- 2 Арінкін, В.В. Підвищення працездатності поршневої групи дизеля Д-100 [Текст]. - М.: [Машгіз], 1959. - 112с.
- 3 Артюшин, А.А., Колчин А.В. Про засідання Бюро Відділення механізації, електрифікації та автоматизації РАСГН / О.О. Артюшин // МТС. 2004. №2. с. - 5..11.
- 4 Афініївський, С.А., Єрмолаєв П.С., Метелкін В.А. Дзеркало-циліндра, витік газів та чад олії // Р.Ж. Автомобільна промисловість №3 1989р. - С.26.
- 5 Баркова, Н.А. Віброакустичні методи діагностики СЕУ: Навчальний посібник [Текст]. - Вид.: [Ленінград]. 1986р.
- 6 Байзі, М.Ю. Суднові двигуни внутрішнього згорання (процеси в циліндрах) [Текст]. - Горький, 1969. - 158с.
- 7 Бельських, В.І. Довідник з технічного обслуговування та діагностування тракторів [Текст]. - М.: [Россільгоспвидав], 1982. - 392с.
- 8 Бельських, В.І. Сільськогосподарські трактори. Керівництво з ремонту, діагностування на СТОТ та ремонтних підприємствах / В.І. Бельських, Ю.Ю. Титов [Текст]. - М.: [ДЕРЖНИТИ], 1985. - 70с.
- 9 Борисенко, А.І. Газова динаміка двигунів [Текст]. - М.: [Обероніздат], 1962. - 770с.
- 10 Бойков, А.Ю. Підвищення інформативності компресійно - вакуумного методу діагностування циліндропоршневої групи автотракторних ДВС: автореферат дис. ... к.т.н. - М, 2008. - 16с.
- 11 Бухгяров, І.Д. методика досліджень з акустичного діагнозу двигунів та перевірка її основних положень на прикладі дизеля Д-54: автореферат дис. ... к.т.н. - Новосибірськ, 1967, - 22с. [38]
- 12 Ваганов А.К. Як найкраще використовувати двигун дизельного трактора [Текст]. - М.: [Машгіз], 1954. - 108с.
- 13 Волчек Л.Я. Методи вимірювань у двигунах внутрішнього згорання [Текст]. - М.: [Машгіз] 1955р. - 265с.
- 14 Власов, Ю.Л. Вибір параметрів та засобів діагностування дизелів автомобілів, що працюють у сільському господарстві (на прикладі автомобілів КамАЗ): дисертація дис. ... к.т.н.-М, 1985. - 165с.
- 15 Говрущенко Н.Я. Діагностика технічного стану автомобілів [Текст].-М.: [Транспорт], 1970. - 251с.
- 16 Голубіхін, Ю.А. Методика діагностування дизельних двигунів транспортних засобів за еколого-паливними показниками: автореферат дис. ... к.т.н. - СПб. 2006. - 14с.

17 Гребінець, М.В. Підвищення точності визначення продуктів зношування в маслі двигуна внутрішнього згорання шляхом удосконалення методики відбору проб. Автореферат дис... на ктн. Новосибірськ 2008. 16с.

18 Гур'янов, Ю.А. Експрес - методи та засоби діагностування агрегатів машин за параметрами мастил / Автореферат дис... на ктн. Челябінськ. 2007. - 39с.

19 Гунтер Губертус. Діагностика дизельних двигунів: [Пров. з ним. Ю.Г. Грудського [Текст]. - М.: [За кермом], 2007. - 175с. - Іл.

20 Гурвіч І.Б. Зношування автомобільних двигунів [Текст]. - М.: [Машизі], 1961. - 96с.

21 Двигуни внутрішнього згорання. [Науково-технічна збірка, випуск 51], [Текст]. - Харків: [Основа], 1990. - 116с.

22 Двигуни Mitsubishi 4D33, 4D34T4, 4D35, 4D36, Hyundai D4AF, D4AK, D4AE/ пристрій, технічне обслуговування та ремонт [Текст]. - М.: [Легіон-Автодата], 2004. - 104с.

23 Двигун Detroit Diesel серії 60: експлуатація, регулювання, вибіркового ремонт, технічна експлуатація [Текст]/[ред. Гребенніков К.М.]. - СПб.: [Терція], 2006. - 136с. 139

24 Двигуни внутрішнього згорання [Текст]. - За заг. ред. д-ра техн. наук О.С. Орліна. - М.: [Машизі], 1955. - 266с.

25 Діагностична та прогноуюча система для тракторів, комбайнів та складного обладнання тваринницьких ферм / Матеріали досліджень [Текст]. - В.М. Міхлін. - М.: [ДЕРЖНИТИ], 1976. - 97с.

26 Дерябін, А. А. Змашення та знос дизелів [Текст]. - Л.: [Машинобудування], 1974. - 180с.

27 Діагностика дизелів автотракторного типу [Текст]. - Під заг. ред. Н.С. Ждановського - Л.: [Колос], 1970 - 191с.

28 Діагностика автотракторних двигунів [Текст]. - За ред. Н.С. Ждановського - Вид. 2, перероб. та дод. - Л.: [Колос], 1977. - 163с.

29 Діагностика автотракторних двигунів із використанням електронних приладів [Текст] / Н.С. Ждановський, В.А. Алілуєв, В.М. Міхлін. - Ленінград. [Пушкін], 1973. - 127с.

30 Дороганов, Є.В. Визначення технічного стану дизеля з урахуванням складу газів, що відпрацювали: автореферат дис. ... к.т.н. -Барнаул, 2006. - 15с.

31 Демидов, В.В. Методи та засоби контролю та діагностики агрегатів та систем автомобіля: автореферат дис. ... к.т.н. - СПб, 1996

32 Дітятьєв, А.В. Розробка системи діагностування автомобільного двигуна з використанням гармонійного аналізу коливань тиску в органах газообміну: автореферат дис. ... к.т.н. - Харків, 1981.-21с.

33 Дунаєв, А.В. Експрес-оцінка залишкового ресурсу циліндропоршневої групи двигунів внутрішнього згорання / О.В. Дунаєв // Техніка в сільському господарстві. 2008. №6. - с. 34...37.

34 Дунаєв, А.В. Вибір методів та засобів діагностування циліндропоршневої групи автотракторних двигунів / О.В. Дунаєв // Техніка в сільському господарстві. 2007. №6. - с. 25...28.

35 Дунаєв, А.В. Визначення залишкового ресурсу ЦПД ДВС перед її безрозбірним ремонтом / О.В. Дунаєв // Машино-технологічна станція. 2008. №4. - с. 42...43.

36 Дінга, І. Дослідження та розробка методів та засобів діагностики технічного стану циліндро-поршневої групи та клапанів газорозподілу тракторного двигуна [Текст]. - М.: [ДЕРЖНИТИ], 1970. - 144с.

37 Зулъ, М.М. Визначення природного ресурсу агрегатів та трактора та виду його ремонту за результатами діагностування (на прикладі трактора МТЗ): дисертація дис. ... к.т.н. - М., 1983. - 258с.

38 Ісаїд Муханнад Джаміль Махмуд. Автоматизація процесів діагностики несправностей та прогнозу залишкового ресурсу вузлів автомобіля: автореферат дис. ... к.т.н. - Волгоград, 1998.

39 Ільїна, Є.В. Спектральний аналіз мастильних та горючих олій для контролю зносу деталей у машинобудуванні [Текст] / Є.В. Ільїна, К.І. Таганова. - Л.: [ЛДНТП], 1956.

40 Каталог засобів вимірювань, випробувань, контролю та діагностування, що застосовуються при ремонті та технічному обслуговуванні тракторів та сільськогосподарських машин [Текст]. / Під. ред. Л.Ф. Добанової. - М.: [ГОСНИТИ], 1988. - 64с.

41 Каталог обладнання для ремонту та технічного обслуговування тракторів, автомобілів та сільськогосподарських машин [Текст]. / Під. ред. В.А. Туз. - М.: [ДЕРЖНИТИ], 1988. - 64с.

42 Козаків, Д.В. Удосконалення методики діагностування енергетичних показників сільськогосподарських тракторів в експлуатаційних умовах / Автореферат дис. ... на ктн. - зерноград 2008. - 19с.

43 Каплунова, І.М. Вибір раціональних динамічних характеристик з метою підвищення ефективності діагностики ДВС: автореферат дис. ... к.т.н. - Харків. 1984, - 24с.

44 Колчин, А.В. Оптимальна точність технічного діагностування сільськогосподарських тракторів. Дисертація дис. ... к.т.н. - М., 1984, - 261с.

45 Колчин, А.В. Технологія діагностування ЦПД ДВС Універсальним компресорно-вакууїним приладом КІ 28169 - ДЕРЖСНІП. - М.: 2005. - 13с.

46 Коровін, А.І. Діагностування автомобільних двигунів за амплітудними

параметрами коливань тиску газів, що відпрацювали: автореферат дис. ... к.т.н. – Харків, 1983.-21с.

47 Кожевніков, А.В. Контроль робочого процесу в циліндрах дизеля по кривій кутової швидкості колінчастого валу на режимі, що встановився: автореферат дис. ... к.т.н.-СПб, 1993.

48 Колчин, А.В. Бобков Ю.К. Нові засоби та методи діагностування автотракторних двигунів [Текст] / О.В. Колчин, Ю.К. Бобків. - М.: [Колос], 1982. - 108с.

49 Колчин, А.В. Датчики засобів діагностування машин [Текст]. - М.: [Машинобудування], 1984. - 119с.

50 Колчин, А.В. Технологічний посібник з діагностування тракторів та самохідних сільськогосподарських комбайнів [Текст] / О.В. Колчин [та ін]; за ред. В.І. Черноіванова. – М.: [Росінформагротех], 2006. – 241с.

51 Колчин, А.В. Оперативний контроль шкідливих викидів на робочих ділянках МТС / О.В. Колчин, Є.М. Філіппова, М.Ж. Ахмедов // Техніка в сільському господарстві. – 2002. – №4. - с. 27...29.

52 Колчин, А.В. Нове у розвитку технічного діагностування сільськогосподарської техніки / О.В. Колчин, В.М. Міхлін // МТС. 2007. №1. с. - 25... 28.

53 Кремлівський, П.П. Витратоміри та лічильники кількості [Текст]. / Вид. 3, перероб та дод. – Ленінград: [Машинобудування], 1975. – 721с.

54 Круглов, М.Г. Термодинаміка та газодинаміка двигунів внутрішнього згоряння [Текст]. - М.: [МАШГІЗ], 1963.-271с.

55 Кюрегян, С.К. Оцінка зношування двигунів внутрішнього згоряння методом спектрального аналізу [Текст]. - М.: [Машинобудування], 1966. - 152с.

56 Лагерєєв, А.В. Метод диференціального діагностування газорозподільного механізму двигунів внутрішнього згоряння автотранспортних засобів сільськогосподарського призначення: автореферат, дис... к.т.н. - Улан-Уде. 2009. – 20с.

57 Ліханов, В.А. Зниження токсичності автотракторних дизелів [Текст] / В.А. Ліханов, А.М. Сайкін. - М.: [Агропромиздат], 1991. - 208с.

58 Мамедов Енвер Алі Огли. Метод та засоби теплового діагностування дизелів сільськогосподарського призначення, дисертація дис. ... к.т.н. - М., 1992. 189с.

59 Максимов, А.Є. Основи пристрою Автомобіля [Текст]. / Вид. 2. пров. - М.: [ДОСААФ], 1969. - 153с.

60 Математична теорія планування експерименту [Текст]. / За ред. С.М. Єрмакова. – М.: [Наука], 1983. – 390с.

61 Міхлін, В.М. Управління надійністю сільськогосподарської техніки

[Текст]. - М.: [Кодос], 1984. - 334с.

62 Методи та засоби автоматизованого діагностування тракторів, комбайнів, автомобілів на основі перехідних, нестационарних та вібраційних процесів із застосуванням міні-ЕОМ [Текст]; В.М. Міхлін. - Звіт. - М.: [ДЕРЖНИТИ], 1980. - 198с.

63 Mazda двигуни R2, RF (M2R-CD), WL, WL-T: пристрій, технічне обслуговування, ремонт [Текст]. - Новосибірськ: [Автонавігатор], 2004. - 96с.

64 Mitchel John S. "An Introduction to Machinery Analysis and Monitoring." Tulsa: Penn Well Books, 1993.

65 Надійність та діагностика двигунів сільськогосподарських тракторів в експлуатації [Текст] / Відп. ред.: проф. Н.С. Ждановський, А.В. Ніколаєнко, - Л.: [Пушкін], 1981, - 87с.

66 Науковий звіт: «Дослідження та розробка методів та засобів діагностики технічного стану циліндропоршневої групи та клапанів газорозподілу тракторного двигуна» [Текст]. - М.: [ДЕРЖНИТИ], 1970. - 143с.

67 Нікітін, Є.А. Діагностування дизелів [Текст]. / Є.А. Нікітін, Л.В. Станіславський і т.д. - М.: [Машинобудування], 1987. - 224с.

68 Миколаїв, В.І. Конструкція, основи теорії та розрахунку автомобілів [Текст] / В.І. Миколаїв, В.Л. Роговцев-М. [Машинобудування], 1971. - 407с.

69 Миколаїв, Є.В. Чинники, що впливають на параметр витрати картерних газів, основний показник технічного стану ЦПГ / Є.В. Миколаїв, Н.С. Ністратова // Трактори та сільгосп машини. - 2011. - №10. - с. 45...46.

70 Миколаїв, Є.В. Тенденції розвитку засобів діагностики / Є.В. Миколаїв, Є.М. Філіппова, Н.А. Петрищев // Праці ДЕРЖАННЯ. - 2010. - том 105.-с. 73...75.

71 Миколаїв, Є.В. Фактори, що впливають на параметри діагностування: витрата та тиск картерних газів / О.В. Миколаїв // Праці ДЕРЖАННЯ. - 2011. - том 108. - с. 17...22.

72 Миколаїв, Є.В. Визначення технічного стану циліндропоршневої групи щодо витрати картерних газів / О.В. Миколаїв, Є.М. Філіппова // Праці ДЕРЖАННЯ. - 2011. - том 108. - с.91...94.

73 Миколаїв, Є.В. Контроль зносу ЦПГ / Є.В. Миколаїв, Є.М. Філіппова // Сільський механізатор. - 2011. - №2. - с. 32...33.

74 Миколаїв, Є.В. Технічний стан циліндро-поршневої групи та витрата картерних газів / О.В. Миколаїв, Є.М. Філіппова // Техніка та обладнання для села. - 2011. - №3. - с.41...42.

75 Миколаїв, Є.В. Витрата картерних газів відбиває технічний стан ЦПГ двигуна / О.В. Миколаїв, Н.С. Ністратова // Техніка та обладнання для села. - 2011. - №9. - с.41...42.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

ДОДАТКИ

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України