

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра інжинірингу технічних систем

П о я с н ю в а л ь н а з а п и с к а

до дипломної роботи

освітнього ступеня "Магістр"

на тему:

**УДОСКОНАЛЕННЯ ДІАГНОСТУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ
ЦИЛІНДРО-ПОРШНЕВОЇ ГРУПИ ЗА ТЕМПЕРАТУРНИМ
ПАРАМЕТРОМ**

Виконав: студент 2 курсу, групи МгАІ-2-22
за спеціальністю 208 "Агроінженерія"

_____ Василюк Вадим Вадимович

Керівник: _____ Толстенко Олександр Васильович

Рецензент: _____

Дніпро 2023

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра: Інжинірингу технічних систем

Освітній ступінь: "Магістр"

Спеціальність: 208 "Агроінженерія"

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

ІТС

(назва кафедри)

К.Т.Н. ДОЦЕНТ

(вчене звання)

(підпис)

Дудін В.Ю.

(прізвище, ініціали)

”_____” _____ 2023 р.

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

Василюк Вадиму Вадимовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Удосконалення діагностування технічного стану циліндро-поршневої групи за температурним параметром

керівник роботи к.т.н. доц. Толстенко О.В.

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від 09.11.2023 року
№ 3422

2. Строк подання студентом роботи до 1.12.2023

3. Вихідні дані до роботи Існуючі методи діагностування технічного стану циліндро-поршневої групи автотракторних двигунів. Аналіз конструкцій засобів діагностування автотракторних двигунів. Показники стану охорони праці в базовому підприємстві. Техніко-економічні показники роботи базового підприємства.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Стан питання та задачі досліджень. 2. Теоретичне обґрунтування вдосконалення діагностування ЦПГ автомобільних двигунів. 3. Методика експериментального дослідження. 4. Розробка засобу діагностування. 5. Результати експериментальних досліджень. 6. Охорона праці та безпека життєдіяльності. 7. Техніко-економічні показники роботи. Загальні висновки та пропозиції. Список літератури. Додатки

5. Перелік демонстраційного матеріалу

1. Тема роботи (1 аркуш А4). 2. Мета і задачі досліджень (1 аркуш А4). 3. Аналіз дефектів деталей ЦПГ (1 аркуш, А4). 4. Аналіз засобів діагностування (1 аркуш А4). 5. Результати теплового розрахунку (1 аркуш А4). 6. Загальна методика досліджень (1 аркуш А4). 7. Обладнання для експериментальних досліджень (1 аркуш, А4). 8. Експериментальні дослідження (1 аркуш, А4). 9. Алгоритм діагностування ЦПГ (1 аркуш, А4). 10. Охорона праці (1 аркуш А4). 11. Економічні показники (1 аркуш, А4). 12. Загальні висновки (1 аркуш А4).

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1, 2, 3, 4, 5	Толстенко О.В., к.т.н., доцент		
6	Деркач О. Д., к.т.н., доцент		
7	Вінніченко І. І., д.е.н., професор		
Нормоконтролер	Івлєв В.В., к.т.н., доцент		

7. Дата видачі завдання: _____.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Пошукова частина роботи	до 01.10.2023	
2	Теоретичне обґрунтування роботи	до 25.10.2023	
3	Експериментальне підтвердження роботи	до 15.11.2023	
4	Охорона праці та безпека життєдіяльності	до 20.11.2023	
5	Економічне обґрунтування роботи	до 25.11.2023	
6	Демонстраційна частина	до 01.12.2023	

Студент

_____ (підпис) Василюк В.В. (прізвище та ініціали) .

Керівник роботи

_____ (підпис) Толстенко О.В. (прізвище та ініціали) .

РЕФЕРАТ

Василюк В.В. Удосконалення діагностування технічного стану циліндро-поршневої групи за температурним параметром / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «Магістр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія». – ДДАЕУ, Дніпро, 2023.

У дипломній роботі розглянуто питання удосконалення діагностування технічного стану циліндро-поршневої групи (ЦПГ) за температурним параметром.

Показано, що існуючі методи діагностування ЦПГ не дозволяють точно і швидко визначити її технічний стан. Це пов'язано з тим, що температура в циліндрі залежить від багатьох факторів, таких як режим роботи двигуна, температура навколишнього середовища, стан двигуна та ін.

Для вирішення цієї проблеми запропоновано новий метод діагностування ЦПГ, заснований на використанні температури в середині циліндра. Метод дозволяє визначити температуру в різних точках циліндра, що дає можливість більш точно встановити несправності ЦПГ.

Розроблено пристрій для реалізації запропонованого методу. Пристрій складається з реєстратора, датчика температури, програмного забезпечення та механічної частини.

Досліджено роботу пристрою на стенді. Показано, що пристрій дозволяє з високою точністю визначити температуру в різних точках циліндра.

Запропонований метод діагностування ЦПГ дозволяє: підвищити точність і швидкість діагностування; зменшити кількість помилок у постановці діагнозу; зменшити витрати на ремонт двигунів.

Ключові слова: ЦИЛІНДРО-ПОРШНЕВА ГРУПА, ДІАГНОСТУВАННЯ, ТЕМПЕРАТУРНИЙ ПАРАМЕТР, ТЕРМІЧНЕ ЗОБРАЖЕННЯ, ПРИСТРІЙ, СТЕНД.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ	10
1.1. Аналіз параметрів діагностування циліндро-поршневої групи	10
1.2. Аналіз засобів та методів діагностування	18
1.3. Висновки та завдання дослідження.....	29
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВДОСКОНАЛЕННЯ ДІАГНОСТУВАННЯ ЦИЛІНДРОПОРШНЕВОЇ ГРУПИ АВТОМОБІЛЬНИХ ДВИГУНІВ.....	31
2.1. Аналітичне дослідження залежності температури камери згоряння від зношування сполучень циліндро-поршневої групи	31
2.2 Висновки	36
РОЗДІЛ 3. МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ.....	38
3.1. Схема загальної методики дослідження.....	38
3.2 Оцінка впливу герметичності камери згоряння на температурний режим ДВЗ	42
3.3. Висновки	50
РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА ЗАСОБУ ДІАГНОСТУВАННЯ ДВЗ.....	51
4.1 Розроблення пристрою діагностики циліндропоршневої групи ДВЗ	51
4.2 Обґрунтування залежності діагностичного параметра–температури в камері згоряння від структурного – зносу гільзи циліндрів у поясі зупинки верхнього компресійного кільця	54
4.2. Висновки	56
РОЗДІЛ 5. АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	57

5.1 Удосконалення алгоритму і технологічного процесу діагностування ДВЗ ЯМЗ-238.11-240	57
5.2 Розрахунок періодичності діагностування автотракторних ДВЗ та її вплив на ресурс	62
5.3. Висновок	65
6. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	66
6.1. Система управління охороною праці у АТП -11263	66
6.2. Аналіз травматизму на виробничому об'єкті	68
6.3. Захист у надзвичайних та аварійних ситуаціях	71
6.3.1. Вибір найімовірнішого сценарію аварійної ситуації	Ошибка!
	Закладка не определена.
6.3.2. Забезпечення пожежної безпеки на території та у виробничих приміщеннях АТП	Ошибка! Закладка не определена.
6.3.3. Евакуація людей та автомобілів під час пожежі	72
6.4. Висновок	73
7. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ	74
7.1. Розрахунок економічних показників	74
7.2. Висновок	78
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	79
ЛІТЕРАТУРА	ОШИБКА! ЗАКЛАДКА НЕ ОПРЕДЕЛЕНА.
ДОДАТКИ.....	84

ВСТУП

У сільському господарстві намітилося старіння рухомого складу автотранспортної техніки та сільськогосподарських машин, що пояснюється загальним станом економіки країни. Витрати фермерських господарств і сільгоспвиробників на підтримання працездатності парку сільськогосподарської техніки та встановлених на неї двигунів у деяких випадках перевищують вартість закупівлі нових агрегатів, досягаючи при цьому 12...15 % собівартості сільськогосподарської продукції. Із цих витрат до 23 % припадають на їхні технічні обслуговування (ТО) і ремонти. При цьому ремонтні підприємства стикаються з фактами потрапляння агрегатів і двигунів до капітального ремонту (КР) з невикористаним на 28...35 % ресурсом, що зумовлено ігноруванням своєчасного виявлення несправностей діагностуванням технічного стану та недоліками планово-попереджувальної системи ТО і ремонту [1, 2].

Розробці питання забезпечення працездатності сільськогосподарських машин та їхніх агрегатів, обслуговуючої автотракторної техніки з використанням діагностування присвячено багато робіт [3, 4, 5, 6].

Тягово-економічні показники ДВЗ визначаються ефективним функціонуванням механізмів і систем: кривошипно-шатунного механізму (КШМ), циліндропоршневої групи (ЦПГ), систем змащення, живлення, газорозподілу. Високий коефіцієнт варіації несправностей і невідповідність показників технічного стану цих систем і механізмів [7] необхідним значенням нормативів передбачає індивідуальний підхід до діагностування технічного стану автотракторних ДВЗ з обґрунтованою періодичністю. Методологія профілактичних, контрольних, регулювальних, ремонтних і відновлювальних робіт, що діє в планово-попереджувальній системі, передбачає відповідність структурних і діагностичних параметрів ДВЗ і прив'язку до регламентованих нормативів, що призводить до втрати потенційних можливостей як за умови індивідуального підходу до відновлення ресурсу агрегату і, зокрема, двигуна сільгоспмашини, автотракторної техніки.

Закономірність повторюваних відмов передбачає можливість планування технічних впливів ТР за результатами комплексної оцінки ДВЗ - діагностування механізмів і систем з обґрунтованою періодичністю. Тому підвищення ефективності технічної експлуатації ДВЗ, що полягає в комплексній оцінці механізмів і систем ДВЗ за результатами діагностування з обґрунтованою періодичністю дасть змогу знизити витрати на ТР і загальні витрати за весь термін служби ДВЗ.

Мета роботи - забезпечення працездатності дизельного двигуна за результатами діагностування. Завдання дослідження:

1. Теоретично обґрунтувати спосіб діагностування ЦПГ за температурою в камері згоряння ДВЗ.
2. Розробити пристрій для діагностування ЦПГ за температурою в камері згоряння.
3. Провести експериментальні дослідження діагностичного пристрою з обґрунтуванням періодичності його використання.
4. Визначити економічний ефект пропонованих розробок.

Об'єкт дослідження – циліндро-поршнева група двигунів внутрішнього згоряння.

Предмет дослідження - зміни температури в камері згоряння двигуна внутрішнього згоряння в процесі експлуатації.

РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1. Аналіз параметрів діагностування циліндро-поршневої групи

Ремонтні майстерні сільськогосподарських підприємств визначають ступінь зносу двигуна і необхідність ремонту шляхом діагностики параметрів витрати палива, моторної оливи, тиску в системі змащення і вихідної потужності. Однак точність діагностики за цими показниками є недостатньою для оцінки стану зносу та величини зносу циліндро-поршневої групи двигуна, оцінки залишкового ресурсу ЦПГ та об'єктивної оцінки ремонтних робіт [3, 5].

Вимірювання компресії в двигуні (оцінка пневмощільності конкретного циліндра за максимальним тиском наприкінці такту стиснення), представлений на рисунку 1.1, найпростіший з наявних методів діагностики стану циліндропоршневої групи.






Рисунок 1.1 – Вимірювання компресії в двигуні


Переваги компресійного методу - простота, доступність, універсальність. Інформація, одержувана за допомогою цього пристрою, необхідна. По-

казання компресометра дають змогу судити про такі несправності ЦПГ і ГРМ (табл. 1.1).

Таблиця 1.1-Несправності циліндропоршневої групи та їхні ознаки [8, 9]

Несправність	Ознака несправності	Компресія МПа	
		Відкрита заслонка	Закрита заслонка
Повністю справний двигун	Відсутні	1,0 -1,2	0,6-0,8
 Тріщина в перемичці поршня	Синій дим вихлопу, підвищений тиск в картері	0,6-0,8	0,3-0,4
 Прогар поршня	Синій дим вихлопу, підвищений тиск в картері, циліндр не працює на малих обертах	0,4-0,5	0-0,1
 Залягання кілець	Синій дим вихлопу, підвищений тиск в картері, циліндр не працює на малих обертах	0,2-0,4	0-0,2

	<p>Синій дим вихлопу, підвищений тиск в картері, циліндр не працює на малих обертах, можлива не стійка робота на холостому ходу</p>	<p>0,2-0,8</p>	<p>0,1-0,5</p>
	<p>Циліндр не працює на малих обертах</p>	<p>0,3-0,7</p>	<p>0-0,2</p>
	<p>Циліндр не працює на малих обертах</p>	<p>0,1-0,4</p>	<p>0</p>
	<p>Циліндр не працює на малих обертах</p>	<p>0,7-0,8</p>	<p>0,1-0,3</p>
<p>Дефект профілю кулачка розподільчатого валу</p>			

	Підвищена витрата масла + синій дим вихлопу	1,2-1,5	0,9-1,2
Підвищення нагару в камері згорання та підвищений знос маслосземних ковпачків	Підвищений знос ЦПГ	Підвищена витрата палива та масла на угар	0,2-0,4 0,6-0,8

Однак інформативність цього методу недостатня для оцінки очікуваної тривалості життя, а також для постановки остаточного діагнозу статусу ХПГ та ГДМ. Однак справа не лише в кількості інформації, а й у методологічних помилках.

Недоліком компресометрії є її велика похибка (до 11%). Компресія також виникає, коли масляні кільця зношуються і масло залишається на стінках циліндра, внаслідок чого паливо розмиває масляний клин і зменшує ступінь стиснення.

На компресію впливає початкова частота обертання колінчастого валу двигуна і температура двигуна, особливо температура камери згорання. Різниця між фактичним значенням компресії і розрядженим акумулятором може становити до 0,5 МПа; на величину компресії ЦПГ впливає опір впускного тракту і температура моторної оливи. Неповна діагностична інформація призводить до втрати часу і, як наслідок, зниження рентабельності. Послаблене утримання кілець або клапанної кришки в гнізді, навіть якщо ви просто замінили масло або паливну кришку або спробували "просочити" кільця спеціальною присадкою або парафіном, часто призводить до розбирання двигуна без визначення причини несправності.

Таким чином, метод малоінформативний, але все ж дає змогу виявити несправність у ЦПГ, і далі діагностику можна продовжити вже більш інформативними приладами. Вимірювання компресії здійснюється для виявлення дефектного циліндра.

Компресія чутлива до витоків і навіть несуттєві нещільності знижують її значення на порядок. Причинами цього можуть бути: неповністю задовільне прилягання клапанів до сидла; дефекти внаслідок зносу профілю кулачка розподільного вала; пробій прокладки головки блока. Під час розроблення діагностичного пристрою необхідно враховувати витoki через нещільності ЦПГ і ГРМ.

Компресію також можна вимірювати при відкритій дросельній заслінці, в цьому випадку характер вимірювання і результати будуть дещо відрізнятися. Коли в камеру згоряння потрапляє велика кількість повітря, тиск в камері згоряння збільшується, а витoki через з'єднання поршневе кільце - гільза збільшуються, але менше, ніж початкова подача повітря, що призводить до зниження компресії. Іншими словами, метод вимірювання компресії при відкритій дросельній заслінці можна використовувати при проблемах двигуна, пов'язаних з руйнуванням або прогаром поршня, руйнуванням або глушінням через закоксовування поршневих кілець в поршневій канавці, прогаром або деформацією клапанів, подряпинами дзеркала циліндра тощо.

У всіх цих методах вимірювання необхідно враховувати динаміку підвищення тиску і температури в камері згоряння, щоб з більшою ймовірністю визначити правильний діагноз несправності. Наприклад, якщо значення тиску манометра на початку експерименту низьке (0,3... 0,4 МПа), а потім швидко зростає, це пов'язано зі зносом поршневих кілець. Для підтвердження цього діагнозу впорскують в циліндр невелику кількість масла (не більше 5 см³), що збільшує тиск в камері згоряння і, відповідно, компресію.

Якщо тиск в камері згоряння спочатку досягає 0,9 МПа і далі не підвищується, то є нещільність в сидлі клапана або прокладці головки блоку. У

цьому випадку для більш точного визначення причини можна використовувати інші засоби діагностики.

Діагностика за витратою картерних газів недостатньо точна для наукових цілей через вплив витоку газу через гумові ущільнення. Вплив витоку можна мінімізувати, лише якщо відвести газ з картера двигуна. У цьому випадку під час вимірювання витрати підтримується атмосферний тиск, але це невиправдано довго і дорого. Крім того, вібрації двигуна також можуть впливати на показник.

Недоліком методу є також неможливість виявити несправний циліндр, а також визначити причини зниження працездатності циліндропоршневої групи. Через велику кількість недоліків, діагностичні пристрої цього типу фахівці справедливо називають індикаторами. Витрата картерних газів, як діагностичний параметр, не є стабільним, інформативним, достовірним і чутливим, коливається в широких межах для одного й того самого типу двигуна за рівноцінного зносу циліндропоршневої групи.

Дослідження, що проводяться з цієї тематики, дали змогу виявити чинники, що впливають на прорив картерних газів як оціночного показника технічного стану циліндропоршневої групи. З'ясувалося, що під час прогрівання двигуна збільшується й об'ємна витрата картерних газів. Результати експериментів учених [10, 11, 12] з вимірювання витрати картерних газів залежно від прогріву охолоджувальної рідини, проведених на двигунах марок ЯМЗ-238 за постійної частоти обертання колінчастого вала двигуна та відсутності навантаження відображено на рисунку 1.2.

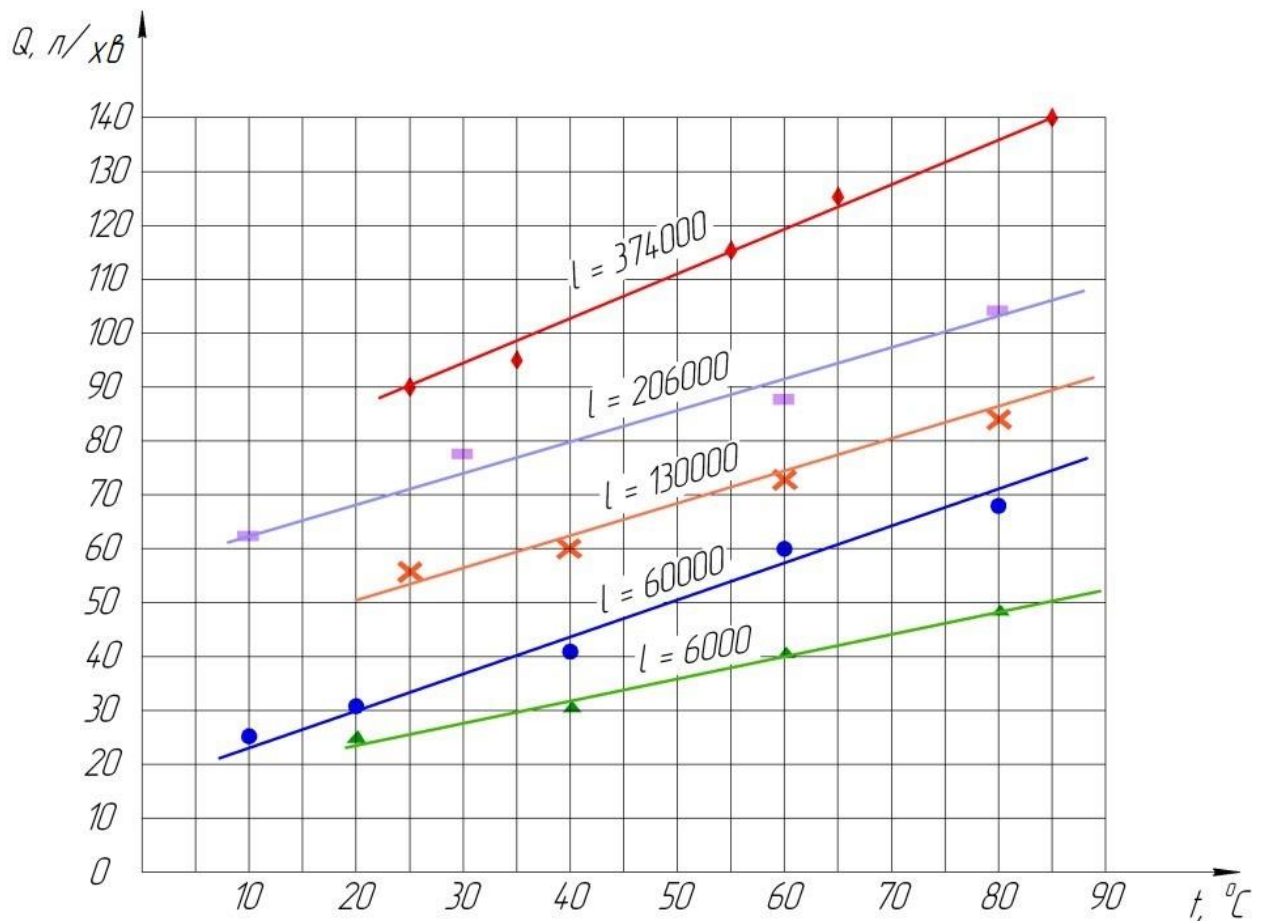


Рисунок 1.2 - Витрата картерних газів у разі збільшення прогріву ДВЗ [12].

У рамках цього дослідження оцінювали вплив окислення (старіння) моторної оливи на витрату картерних газів шляхом проведення вимірювання витрати картерних газів до і після заміни моторної оливи під час ТО. Результати вимірювань, проведені на двигунах марок ЯМЗ 238, представлено на рисунку 1.3.

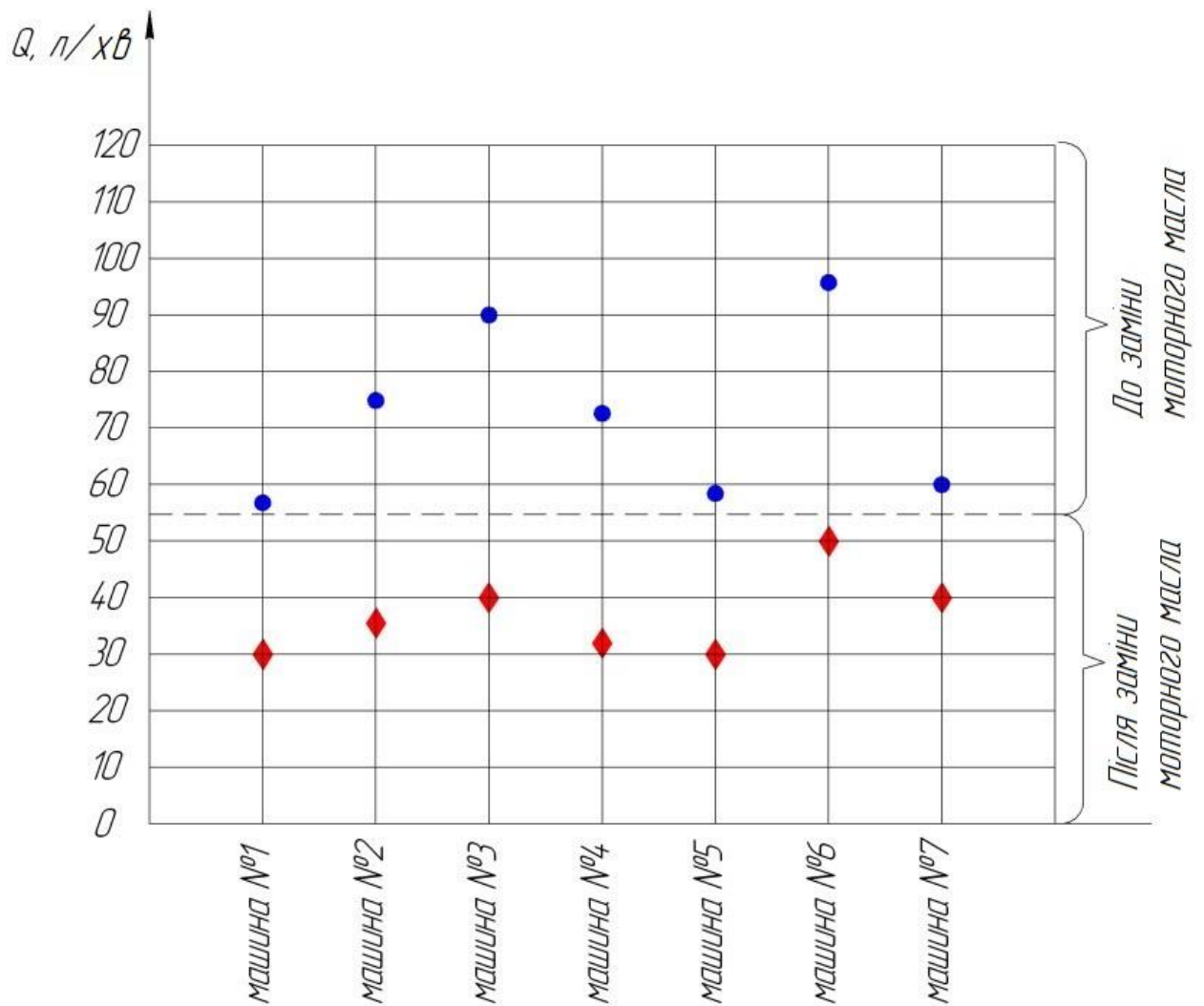


Рисунок 1.3 - Витрата картерних газів під час старіння моторної оливи [12].

У багатьох працях наводяться дані про збільшення витоків через циліндро-поршневу групу двигуна під час заміни моторної оливи. У низці випадків вони збільшуються багаторазово, що свідчить про погану якість моторної оливи. Таким чином, під час діагностування циліндропоршневої групи двигуна за витратою картерних газів через витоки необхідно враховувати не тільки якість моторної оливи, а й температуру в камері згоряння ДВЗ, оскільки вони впливають на ефективність роботи двигуна загалом.

1.2. Аналіз засобів та методів діагностування

Діагностика пневмотестером (рис. 1.4) дає можливість визначити витічки в камері згоряння через нещільності сполучення "поршень-кільце-гільза" і виявити несправний елемент циліндр.

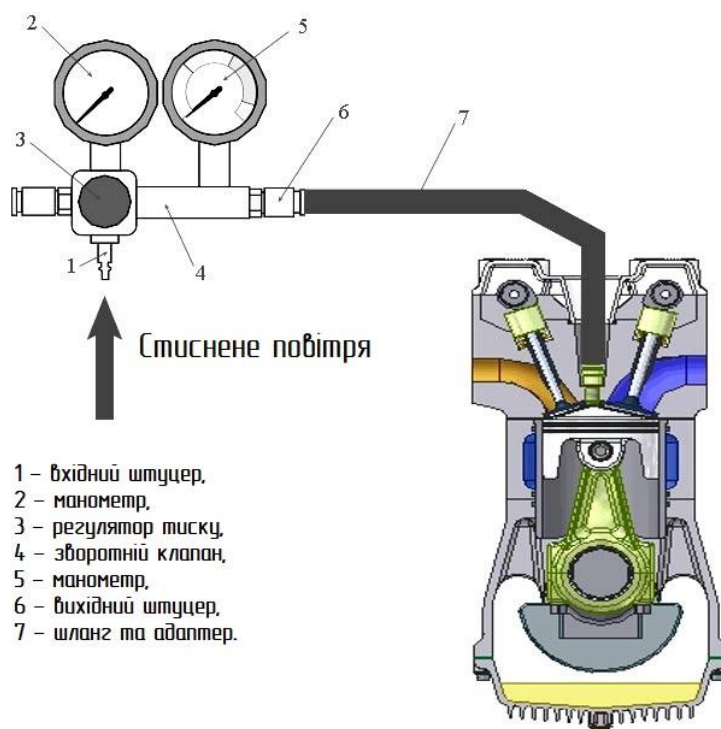


Рисунок 1.4 – Діагностика пневмотестером [12]

Поршень циліндра, що діагностується, виставляється у верхню мертву точку повільним прокручуванням колінчастого вала в такт стиснення, який передбачає перекриття впускного і випускного клапанів. Потім у циліндр, що розглядається, подається компресором стиснене повітря, фіксується його подача і засікають час падіння тиску. Так оцінюється пневмощільність циліндра двигуна. Цей метод може використовуватися в стаціонарних умовах у ремонтних підприємствах за обов'язкової наявності джерела стисненого повітря - компресора. Навіть у новому двигуні камера згоряння не може бути повністю герметичною через наявність конструктивних зазорів сполучень циліндропоршневої групи, тому за технічними характеристиками допускають падіння тиску паливно-повітряної суміші на 15...20%, а в експлуатації -

двократне збільшення цього значення, але в будь-якому разі потрібно орієнтуватися на табличні дані (табл. 1.2).

Таблиця 1.2 – Герметичність камери згоряння та її критерії

Величина витіку, %	Зона шкали	Висновок про герметичність камери згоряння
10...20%	Зелена	Хороший стан - витік через зазори ЦПГ мінімальний
20...40%	Жовта	Задовільний стан - витік граничний
40...60%	Червона	Критичний витік - у циліндрі несправності, за яких експлуатація заборонена
Понад 60%		Безумовне зняття з експлуатації та відправлення в капітальний ремонт

Недоліками методу є:

По-перше, якщо двигун оснащений автоматичною коробкою передач, або подібними варіантами, потрібен підйомник. Труднощі можуть виникнути і під час виставлення поршня у ВМТ.

По-друге, якщо перевіряється останній циліндр у послідовності, результати можуть бути неякісними через витікання оливи з поверхонь циліндрів у картер.

По-третє, можна достовірно оцінити лише протікання клапанів. Цей метод не може достовірно вказати на стан кілець або знос гільз.

По-четверте: цей метод трудомісткий, оскільки діагностика кожного циліндра займає багато часу.

Сутність вакуумного методу оцінки ЦПГ полягає у вимірюванні при відсмоктуванні повітря з камери згоряння значення вакууму. Потім звіряють отримане значення з табличними даними двигунів. Алгоритм діагностування і робота пристроїв, що входять до комплекту, полягає в прокручуванні колінчастого вала пусковим пристроєм будь-якої конструкції. На такті стиснення поршень видавлює з циліндра повітря через клапан редукційного типу (рис. 1.5) в атмосферу.



Рисунок 1.5 – Вакуумметр

Наприкінці такту стиснення тиск у камері згоряння високий, але він не перевищує допустимого. У такті розширення вакуумний редуційний клапан через вплив розрядження в циліндрі відкривається. Відповідно, у момент відкриття випускного клапана газорозподільного механізму двигуна закривається і вимірювальний пристрій вакуумметра зберігає значення максимальної розрядки в циліндрі двигуна (рис. 1.6).

Величина повного вакууму через ефект масляного клина за допустимого технічного стану гільзи циліндра, а також герметичності впускних і випускних клапанів із сідлами нижче за певне значення P_{1min} для будь-якого типу двигуна не буває і не залежить від технічного стану поршневого кілець. Тому, залежно від величини повного вакууму P_1 , можна говорити про стан гільзи циліндрів (еліпсність, наявність натирів, задирів) і клапанів із сідлами газорозподільного механізму двигуна. Друге значення тиску розрядження вимірюється за відсутності зв'язку надпоршневого простору з атмосферою на такті стиснення.

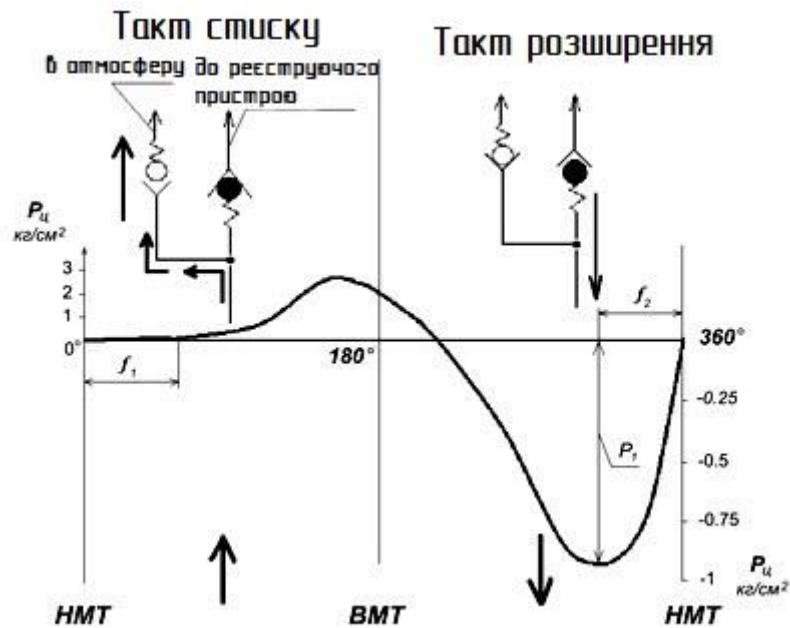


Рисунок 1.6. – Схема вимірювання величини вакууму P_1 [12].

Формулювання залишкового вакууму визначається похідною від величини втрат тиску в камері згоряння робочого тіла через кільця в циліндрі ДВЗ у зоні надлишкового тиску в циліндрі двигуна.

Принцип вимірювання залишкового вакууму представлено на рис. 1.7.

За задовільного стану гільзи циліндра і герметичності клапанів величина залишкового вакууму за припустимого технічного стану гільз циліндрів і герметичності клапанів характеризує і стан поршневих компресійних і мастилоз'ємних кілець: зносу, закоксовування, поломку перемичок поршня, поршневих кілець. Пневмоцільність впускних і випускних клапанів, наявність прогарів і тріщин у днищі поршня і голівці блоку циліндрів сильно впливають на значення величини залишкового вакууму P_1 .

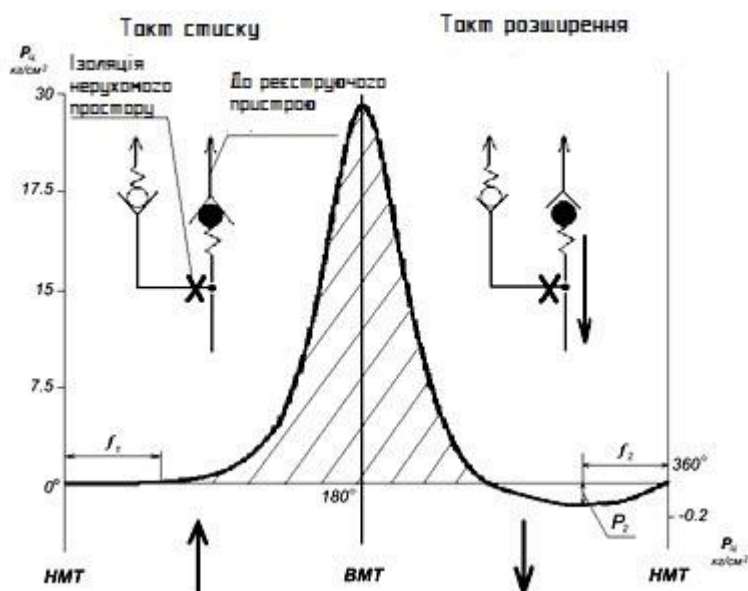


Рисунок 1.7. – Схема вимірювання залишкового вакууму P2.

Експериментальні дослідження, підкріплені великим статистичним матеріалом, дали змогу обґрунтувати основні нормативні значення показників - P1 і P2 для дизельних і бензинових двигунів, які наведено в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Номінальні та граничні значення тиску в циліндрі.

Тип ДВС	Номінальні значення, кгс/см ²		Граничні значення, кгс/см ²		
	Гільза – P1	Кільця – P2	Гільза – P1	Кільця – P2	Клапан – P1
Дизель	0,89...0,94	0,14...0,17	0,78	0,25	0,65
Бензиновий (на Аи-95)	0,80...0,84	0,17...0,20	0,75	0,32	0,60
Бензиновий (на Аи-92)	0,80...0,82	0,18...0,20	0,72	0,36	0,60

Цей метод має достатню інформативність і дає змогу визначити з високою точністю вид несправності. Перевага - у простоті інструментальної діагностики з одночасно високою чутливістю та інформативністю результатів вимірювання. Переваги пристрою в незалежності від стану акумуляторної батареї, її стан не є значущим фактором, знати номінальну

величину компресії не потрібно для діагностованого двигуна, щоб її порівнювати. Потрібно знати марку і вид палива, на якому експлуатується двигун сільгоспмашини. Діагностовані параметри оцінюються за значеннями з діагностичних діаграм для конкретного палива, і здійснюється оцінка стану сполучень ЦПГ. А якщо в двигуні чергується робота на бензині та газі, застосовується діаграма для використовуваної марки бензину. Завдяки своєчасному та якісному виявленню дефектів деталей циліндропоршневої групи аналізатор герметичності циліндрів двигуна дає змогу уникнути проведення дорогого нині необґрунтованого ремонту, ефективніше використовувати його ресурс, якісно проводити за фактичним технічним станом регламентні роботи. Потрібно відзначити і недолік методу - неможливість точного, з достатнім ступенем ймовірності, визначення залишкового ресурсу деталей.

Сьогодні розроблено ще один метод оцінки загального технічного стану деталей двигуна, що контактують: віброакустична діагностика. В цьому випадку в якості індикатора використовується рівень шуму. Цей метод також використовується для оцінки таких компонентів, як колінчасті вали, шатуни і механізми газорозподілу.

Потенціал віброакустичної діагностики двигуна заснований на розшифровці процесу вібрації. Вібрації, які виникають при зіткненні деталей, що сполучаються, значно відрізняються за амплітудними параметрами від вібрацій, викликаних газодинамікою і тертям. Кожна пара має власну частоту та амплітуду коливань під час зіткнення. Чим більший зазор, тим більша енергія і тривалість зіткнення, а отже, і сила вібрації. Приналежність вібрації до конкретного компонента моторного механізму деталей, що зіштовхуються, визначається для обраної контрольної точки вимірювання. Значення параметрів віброакустичного сигналу залежать від частоти обертання двигуна та режиму навантаження.

Вчені виділяють наступні види віброакустичної діагностики В одному з методів за допомогою осцилографа реєструється рівень амплітуди миттєвого

віброімпульсу при фіксованому часі або куті повороту колінчастого валу. Для того, щоб придушити перешкоди і зробити більш конкретні спостереження, процес зміни коливань записується в діапазоні частот, де несправність механізму найбільш очевидна, або в області діаграми, близькій до контрольної точки. Крім того, для діагностики використовуються оптимальні для об'єкта умови навантаження і швидкості, а також положення датчика. Несправності діагностованого об'єкта визначаються за характером осцилограми коливального процесу і порівнюються з характеристиками осцилограми при нормальній роботі механізму.

Відомий універсальний метод віброакустичної діагностики за допомогою реєстрації та аналізу осцилограми в усьому спектрі амплітуд коливального процесу. Аналіз осцилограм проводять за спектром аналогічних частот фільтруванням інших частот, таким чином, щоб виділити спектр коливального процесу, що цікавить дослідника. Коливальний спектр у вигляді осцилограми фіксують на характерній ділянці за обґрунтованого навантажувального і швидкісного режимів роботи діагностованого механізму. За середнім або максимальним значенням даних осцилограми коливального процесу, порівнюючи з нормативними, судять про роботу діагностованого сполучення. Стандарти встановлюються експериментальними методами, які імітують відмови або накопичують статичну інформацію за результатами експлуатаційних випробувань.

Акселерометри для вимірювання вібрації деталей машин, ультразвукові детектори витоків для відокремлення високочастотних компонентів, викликаних рухом газу, від низькочастотних механічних шумів, індуктивні датчики, датчики тиску (тензометричні або п'єзоелектричні датчики).

Недоліком цього способу є використання великої кількості дорогих приладів, які роблять діагностику ЦПГ недоступною для багатьох СТО. Таким чином, представлені способи діагностики ЦПГ ДВЗ мають суттєві недоліки, які не дають змоги з великою часткою ймовірності говорити про

стан розглянутого сполучення, потрібне розроблення більш точних і мобільних засобів діагностики.

Приклад структурно-наслідкового зв'язку циліндропоршневої групи двигуна як об'єкта діагностування наведено на рис. 1.8. Дана схема встановлює взаємодію елементів, структурних параметрів, діагностичних ознак і параметрів. Кожен із цих елементів має своє вираження у вигляді конкретних проявів, зв'язку між ними. У разі зміни структурних параметрів, таких як зноси в сполученнях, зазор, змінюються і вимірювані діагностичні параметри.

Діагностичні параметри, що відповідають структурним, підрозділяють на номінальні, що характеризують справний стан нового сполучення, допустимі, що характеризують роботу сполучення в межах справної роботи в період експлуатації та граничні, що відповідають переходу умовної межі в несправний стан сполучення. Під час вибору структурних і діагностичних параметрів необхідно враховувати їхню значимість, достовірність, інформативність [9].

Основними показниками ефективності сільськогосподарських машин є продуктивність, потужність, енергоємність та економічність. Згідно з дослідженнями, до 30% машинотракторного парку сільгоспідприємств експлуатуються з перевитратою палива. Понад половину несправностей, що впливають на паливну економічність, можна усунути силами та засобами самих підприємств регулюваннями та усуненням несправностей.

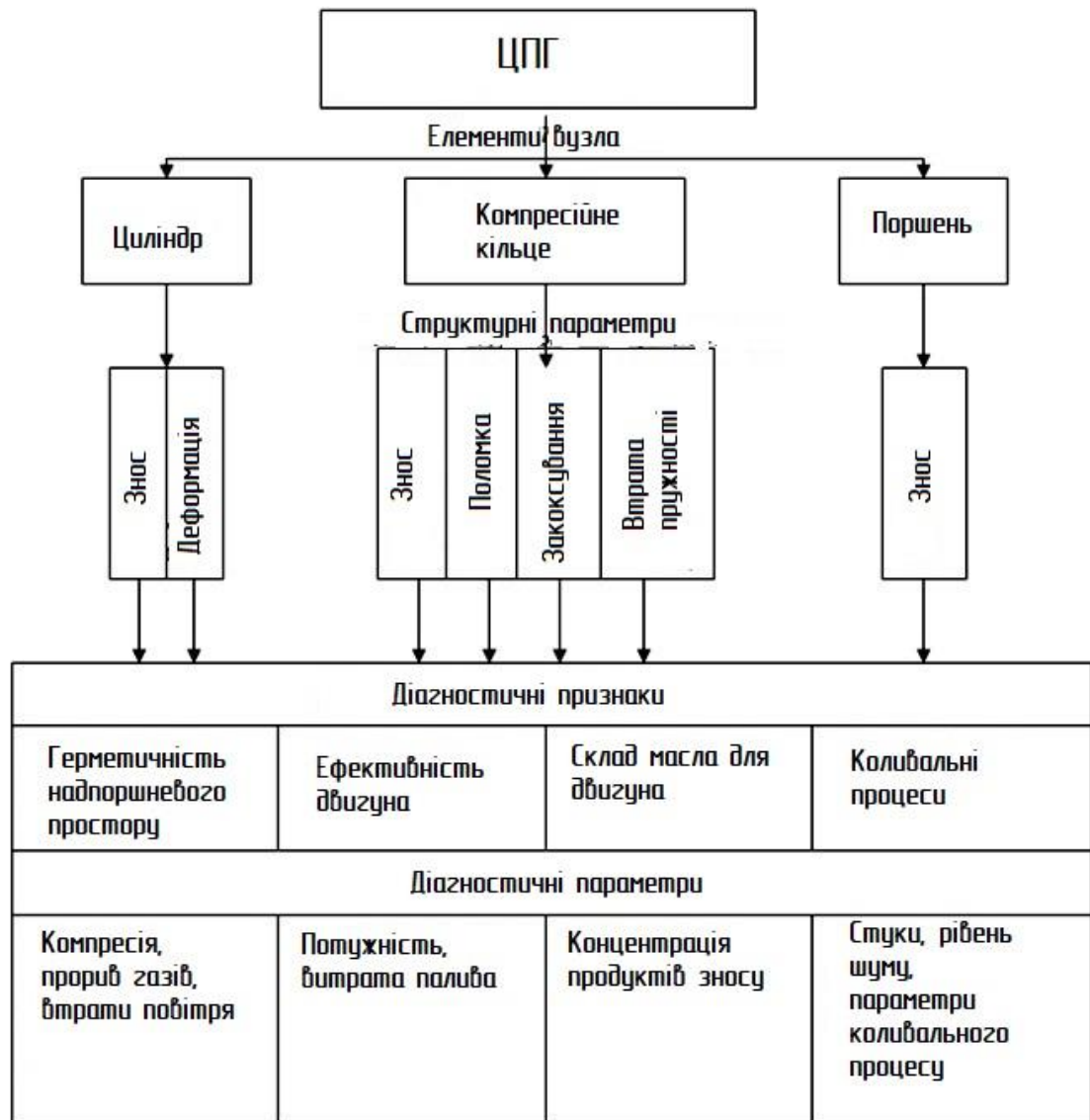


Рисунок 1.8. - Структурно-наслідковий зв'язок циліндропоршневої групи двигуна як об'єкта діагностування [12].

Одним із методів перевірки поточного технічного стану герметичності надпоршневого простору є безпосереднє вимірювання компресії за допомогою компресометра. Компресія - це максимальний тиск повітря в камері згоряння наприкінці такту стиснення. Падіння тиску на 40 відсотків вказує на поломку або заїдання кільця, надмірний знос кільця і гільзи або ослаблене з'єднання сідла клапана. Після додавання 20-25 см³ моторного масла в камеру згоряння визначається несправність з'єднання кільця і гільзи шляхом повторного вимірювання тиску. Підвищення тиску свідчить про

значний знос кілець і вкладишів. Цей метод має переваги і недоліки. Перевагами є те, що компресори дешеві, а час випробування короткий. Основними недоліками є:

- Залежність показань від частоти обертання колінчастого вала двигуна. При цьому оберти при прокручуванні стартером ($250...350 \text{ хв}^{-1}$) істотно відрізняються навіть від частоти обертання колінчастого вала в режимі холостого ходу, не кажучи вже про режими часткових і повних навантажень.

- Недостатня інформативність тесту для виявлення не тільки проблемних циліндрів, а й першопричини недостатнього тиску.

- Неможливість проведення тесту на демонтованому двигуні, частково розібраному двигуні або двигуні з непрацюючим стартером.

Вимірювання температури в камері згоряння двигуна без займання дає повніші дані про стан ЦПГ. За час експлуатації двигуна до капітального ремонту температура в камері згоряння циліндра двигуна знижується більш ніж на 11%. Прорив надпоршневих газів у картер, як і чад моторного мастила, неминуче тягне за собою наслідки за умови збільшеного зазору сполучення "поршень-кілець-гільза", тому що відмінність робочих температур у камері згоряння та силових напружень деталей ЦПГ сприяють зміні геометрії деталей двигуна, збільшенню теплових зазорів у механізмах і втраті пружності поршневих кілець.

Багатьма вченими [13, 14] визнається факт залежності температури в камері згоряння від зносу сполучень циліндропоршневої групи, але приладова реалізація ускладнена через недостатнє аналітичне та експериментальне розроблення засобу і способу діагностування. Тому завданнями цього дослідження стали теоретичне обґрунтування способу діагностування ЦПГ за температурою в камері згоряння ДВЗ і розробка пристрою.

Переваги та недоліки різних методів діагностування циліндропоршневих груп двигунів внутрішнього згоряння наведено в таблиці 1.4. На нашу думку, існує потреба в розробці методів діагностування ЦПГ з

урахуванням температури в камері згоряння та обґрунтуванні обладнання, методики, структури та діагностичних параметрів для діагностування. Над цим питанням працюють багато вчених [15, 16].

Таблиця 1.4 - Методи діагностування циліндропоршневої групи ДВЗ, їх переваги та недоліки [16]

№ з/п	Спосіб діагностування	Переваги	Недоліки
1.	Вимірювання тиску компресометром	- швидкість; - оцінка загального технічного стану; - переносний.	- велика похибка (10%); - при недостатньо зарядженій АКБ компресія на 1...1,5 атм. нижча за реальну
2.	Вимірювання витрати картерних газів пневмотестером	- оцінка загальної працездатності ЦПГ; - виявляє факт несправності циліндра.	- витік газів через сальникові ущільнення; - вплив вібрації на показання пневмотестера; - необхідність у джерелі стисненого повітря.
3.	Органолептичний	- попередня оцінка технічного стану за стуками, температурою охолоджувальної рідини.	- мала інформативність; - низька точність діагнозу; - суб'єктивізм.
4.	Віброакустичний	- попередня оцінка технічного стану за шумом у ЦПГ ДВЗ.	- мала інформативність; - низька точність діагнозу; - суб'єктивізм.
5.	Трибодіагностика (аналіз продуктів зносу в моторному мастилі спектрометрами)	- точна кількісна оцінка продуктів зносу - хімічних елементів у моторному маслі, що характеризують знос конкретних деталей ДВЗ.	- висока вартість; - недостатня інформативність; - висока трудомісткість; - стаціонарний.

6.	Діагностика за температурою в камері згоряння (пропонований)	<ul style="list-style-type: none"> - інформативність; - точність способу; - дешевизна і невисока трудомісткість; - переносний. 	- висока кваліфікація персоналу.
----	--	--	----------------------------------

1.3. Висновки та завдання дослідження

Проведений аналіз дає змогу зробити наступні висновки.

1. Наявні методи та засоби діагностування циліндропоршневої групи двигунів вирізняються різноманіттям діагностичних параметрів, які використовують, недостатньою універсальністю, точністю та порівняно великою трудомісткістю, що обмежує їхнє застосування в різних виробничих умовах.

2. Наявні пристрої діагностики не відповідають вимогам експлуатуючих підприємств: вони або дорогі, або малоінформативні. Необхідно розрахувати періодичність і підібрати комплекс діагностичних засобів, набір параметрів, що оптимально поєднують якість діагностування, трудомісткість, інформативність.

3. Перспективним напрямком, поряд з наявними, є вимірювання температури в камері згоряння циліндропоршневої групи, як діагностичного параметра, пов'язаного зі зносом сполучення "поршень-кільце-гільза", що визначає ресурс ДВЗ.

Зроблені висновки дають змогу сформулювати такі основні завдання цього дослідження.

Завдання дослідження:

1. Теоретично обґрунтувати спосіб діагностування ЦПГ за температурою в камері згоряння ДВЗ.

2. Розробити пристрій для діагностування ЦПГ за температурою в камері згоряння.

3. Провести експериментальні дослідження діагностичного пристрою з обґрунтуванням періодичності його використання.
4. Визначити економічний ефект пропонованих розробок.

РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВДОСКОНАЛЕННЯ ДІАГНОСТУВАННЯ ЦИЛІНДРОПОРШНЕВОЇ ГРУПИ АВТО- МОБІЛЬНИХ ДВИГУНІВ

2.1. Аналітичне дослідження залежності температури камери згоряння від зношування сполучень циліндро-поршневої групи

Дослідженнями [7, 13, 15, 16] встановлено, що інтенсивність зношування сполучень α змінюється прямо пропорційно зміні тиску Δp на поверхні тертя:

$$\alpha = \alpha_0 \pm c\Delta p, \quad (2.1)$$

де α_0 - інтенсивність зношування матеріалу деталі до моменту збільшення тиску на поверхні тертя;

c - коефіцієнт пропорційності.

Інтенсивність зношування сполучень механізмів і систем ДВЗ змінює форму залежності зносу сполучення від пробігу. Вченими виконано дослідження зношування основних сполучень механізмів і систем ДВЗ [15] і доведено експоненціальну залежність зміни інтенсивності зношування сполучень ЦПГ і КШМ від пробігу l :

$$\alpha = \alpha_0 e^{\pm bl}, \quad (2.2)$$

де α_0 - інтенсивність зношування сполучення, приведена до початкового періоду експлуатації;

b - коефіцієнт зміни інтенсивності зношування сполучення на одиницю зносу.

Інтенсивність зношування динамічно навантажених сполучень "шатун - поршневий палець" збільшується в експлуатації, а тих, що саморозвантажую-

ються, зменшується (наприклад, сполучення "циліндр - поршневе кільце"), що пояснюється різною інтенсивністю зношування цих сполучень в експлуатації. Під час взаємодії поверхонь тертя з детермінованими швидкістю ковзання та тиском у робочому діапазоні температур [17, 18, 19], на робочих поверхнях тертя збільшується температура. Інтенсивність зношування від температури з достатньою точністю описується лінійною залежністю [17]:

$$\alpha = \alpha_0 \pm b\Delta t, \quad (2.3)$$

де Δt - зміна на поверхні тертя температури;

α_0 – інтенсивність зносу;

b - коефіцієнт інтенсифікації зносу.

Лінійна залежність (2.3) коректна, тому що підтверджена багатьма експерименту ми даними, отриманими вченими [17]. Що стосується сполучень, які змащуються під тиском, вплив температури моторної оливи в картері двигуна на інтенсивність зношування сполучень - квадратичний [17]:

$$\alpha = \alpha_0 - b_1\Delta t_M + b_2\Delta t_M^2, \quad (2.4)$$

де Δt_M - варіювання температури моторного масла;

b_1, b_2 - коефіцієнти, які враховують зміну температури.

Інтенсивність зношування залежить від тиску на поверхні тертя деталей, що сполучаються, і швидкості ковзання згідно із залежностями [17]:

$$\alpha = \alpha_0 + \alpha_1(1 - e^{-b\Delta p}), \alpha = \alpha_0 + \alpha_1(1 - e^{-b\Delta v}) \quad (2.5)$$

де α_0 - інтенсивність зношування сполучень за умови $\Delta p=0, \Delta V=0$;

α_1 - інтенсивність зношування сполучень за умови $p \rightarrow \infty, V \rightarrow \infty$;

$\Delta p, \Delta V$ - зміна тиску на поверхні тертя і швидкості ковзання деталей вузла, що сполучаються.

Недоліками наявних залежностей впливу тиску на температуру в камері згоряння є те, що з розрахунку виключається вплив витоку робочого тіла через поршневі кільця, а для двигунів із пробігом це є неприпустимим. Для врахування витоків скористаємося рівнянням Менделєєва-Клапейрона:

$$P \cdot V = M \cdot R \cdot T, \quad (2.6.)$$

де P – тиск газів у камері згоряння, Па;

V - об'єм камери згоряння, м³;

M - маса робочого тіла в циліндрі, моль;

R - універсальна газова стала, Дж/моль·К ($R=8,31$ Дж/моль·К);

T - температура в камері згоряння, °К.

Визначимо температуру в такті стиснення у верхній мертвій точці з урахуванням витоку повітряно-олійної суміші без загоряння. Для цього прологарифмуємо рівняння (2.6):

$$(\ln(P \cdot V) = \ln(M \cdot R \cdot T))' . \quad (2.7)$$

Розкриємо рівність (2.7) і продиференціюємо за температурою:

$$(\ln P + \ln V)' = (\ln M + \ln R + \ln T)' . \quad (2.8)$$

Похідна функції (2.8) буде мати вигляд:

$$\frac{1}{P} \cdot \frac{dP}{dt} + \frac{1}{V} \cdot \frac{dV}{dt} = \frac{1}{M} \cdot \frac{dM}{dt} + 0 + \frac{1}{T} \cdot \frac{dT}{dt} . \quad (2.9)$$

Помноживши рівність (2.9) на dt , отримаємо диференціальне рівняння зміни температури в камері згоряння, що враховує витоки робочого тіла M

через замки поршневих кілець через зношування гільзи циліндрів у поясі зупинки верхнього компресійного кільця:

$$\frac{dT}{T} = \frac{dP}{P} + \frac{dV}{V} - \frac{dM}{M}. \quad (2.10)$$

Віднімання витоку у формулі (2.10) свідчить про зниження температури при витоку робочого тіла з камери згоряння ДВЗ.

Запропоновано модель і блок-схему розрахунку в програмі MatLab, що дає змогу розрахувати температуру суміші в камері згоряння із займанням і без займання для двигунів із різним зносом циліндропоршневої групи. Вихідними даними для теплового розрахунку дизеля ЯМЗ-238.11-240 із займанням були: теплота згоряння палива; коефіцієнт надлишку повітря; тиск і температура залишкових газів; показник адіабати; кут повороту колінчастого вала. Показники для розрахунку без займання: діаметр і хід поршня; кут повороту колінчастого вала; номінальний, допустимий і граничний знос гільз циліндрів у поясі зупинки верхнього компресійного кільця (діаметр гільзи циліндрів); частота обертання колінчастого вала; ступінь стиснення.

Тепловий розрахунок виконувався в MatLab за формулою:

$$T_{к.с.} = T \cdot \varepsilon^{n_1 - 1}, \text{ К} \quad (2.11)$$

де $T_{к.с.}$ – температура газів у камері згоряння, К;

ε – ступінь стиснення;

n_1 - показник політропи стиснення (для дизелів $n_1 = 1,36$).

Ступінь стиснення:

$$\varepsilon = \frac{V_a}{V_x}, \quad (2.12)$$

де V_a - об'єм циліндра та камери згоряння, л ($V_a = 1,357$ л);

V_x - об'єм камери згоряння і циліндра за змінного кута повороту колінчастого вала, л:

$$V_x = \frac{\pi d^2 \cdot S_x}{4} + V_{kc}, \quad (2.13)$$

де S_x - переміщення поршня за кутом повороту колінчастого вала ($S_x = 1 - \cos\varphi + \lambda/4(1 - \cos 2\varphi)$), тут λ - відношення радіуса кривошипа до довжини шатуна),

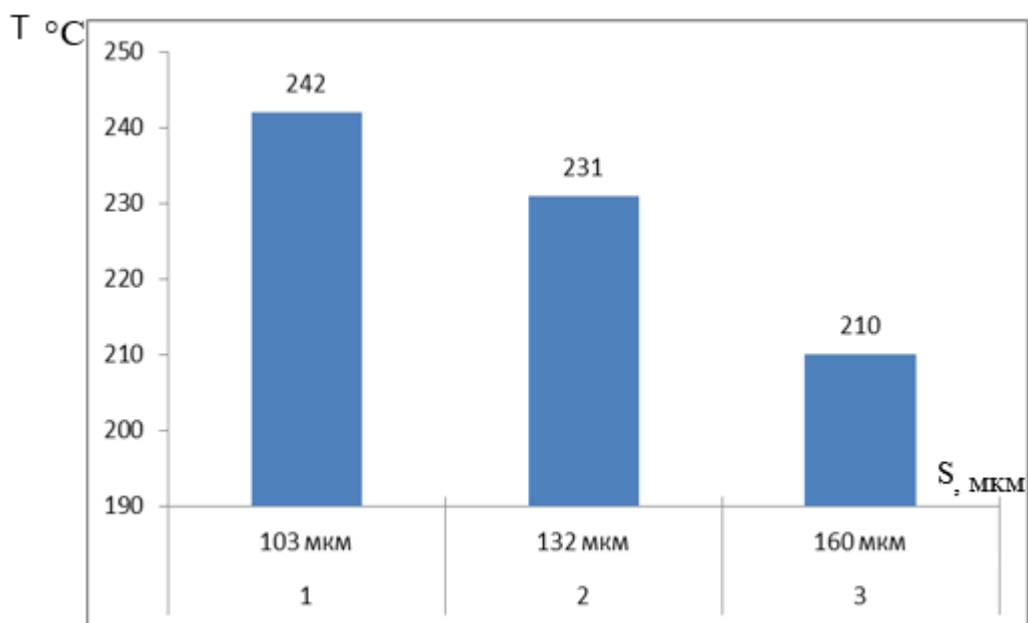
V_{kc} - об'єм камери згоряння.

Остаточно, розрахункова формула:

$$T_{к.с.} = \left(\frac{dP}{P} + \frac{dV}{V} - \frac{dM}{M} \right) \cdot \left(\frac{V_a}{\frac{\pi d^2}{4} \cdot \left(1 - \cos\varphi + \frac{\lambda}{4}(1 - \cos 2\varphi) \right) + V_{kc}} \right)^{0.36} \quad (2.14)$$

Результати теплового розрахунку без займання наведено на гістограмі, наведеній на рисунку 2.1. 1 - для ДВЗ із номінальним значенням діагностичного параметра; 2 - для ДВЗ із допустимим значенням діагностичного параметра; 3 - із граничним значенням діагностичного параметра.

Таким чином, проведені аналітичні дослідження показують, що використання температури повітряно-оливної суміші в камері згоряння без займання враховує основні фактори, які зумовлюють технічний стан циліндро-поршневої групи. Теоретичні розрахунки підтверджено експериментальними дослідженнями, при цьому збіжність становить 95%.



- 1 - ДВЗ із номінальним значенням діагностичного параметра;
- 2 - ДВЗ із допустимим значенням діагностичного параметра;
- 3 - із граничним значенням діагностичного параметра.

Рисунок 2.1 - Зміна температури в камері згоряння ДВЗ ЯМЗ-238.11-240 від зносу гільзи циліндрів у поясі зупинки верхнього компресійного кільця (у площині гойдання шатуна)

2.2 Висновки

1. Аналітично обґрунтовано взаємозв'язок температури та тиску в камері згоряння наприкінці такту стиснення від зносу гільзи циліндрів у поясі зупинки верхнього компресійного кільця.

2. Граничне значення температури в камері згоряння з використанням спрощеної формули Клапейрона-Менделєєва і теплового розрахунку, відповідає граничному зносу гільзи циліндрів у поясі зупинки верхнього компресійного кільця.

3. Запропоновано нову математичну модель процесу зміни температури і тиску за відсутності займання в камері згоряння, адаптовану для обчислення в програмі MatLab на ЕОМ.

4. При визначенні впливу коефіцієнта тепловіддачі аналізувалися відомі та запропоновано нову математичну модель - за відсутності займання в камері згоряння ДВЗ ЯМЗ-238.11.240 з урахуванням зносу гільзи циліндрів у поясі зупинки верхнього компресійного кільця, що характеризує тісний взаємозв'язок цих параметрів.

РОЗДІЛ 3. МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1. Схема загальної методики дослідження

Розроблено програму, загальні та окремі методики експериментів. Програма робіт передбачала лабораторні та стендові дослідження. При цьому експериментально вимірювався тиск манометром, розміщеним у верхній частині пристрою і герметично пов'язаним з камерою згоряння каналом. Температуру в камері згоряння вимірювали вбудованою в пристрій вібростійкою термопарою моделі ТХА-К.305-2-2-1-С10-310/900 (діапазон вимірів: -40...+900 градусів Цельсія) і перетворенням сигналу - вимірником технологічним, одноканальним моделі Б-ІТ-УН-І, заводський №10170.

У момент повороту кривошипа колінчастого вала на такті стиснення досягається максимальне середнє значення вимірюваних величин - тиску і температури. Випробувальний стенд укомплектований приладами: компресометром, пневмотестером, аналізатором герметичності циліндра, термопарою.

Дослідження з визначення впливу температури в камері згоряння ДВЗ на спрацьовування циліндропоршневої групи, яку вимірювали приладом із термопарою, проводили у два етапи:

1. Вимірювання компресометром витоків ЦПГ і температури в камері згоряння термопарою на повністю прогрітому ДВЗ.

2. Часткове розбирання двигуна з метою вимірювання зносу гільз циліндрів нутроміром у поясі зупинки верхнього компресійного кільця для встановлення взаємозв'язку параметрів.

Дослідження з визначення впливу герметичності ЦПГ на температурний режим роботи двигуна проводили у два етапи.

Експеримент містив у собі випробування прогрітого до робочої температури двигуна ЯМЗ-238.11-240 без процесу займання. На 2 етапі проводилося часткове розбирання двигуна з метою вимірювання деталей циліндропор-

шневої групи. Перелік питань, що підлягають розробленню, відображено в схемі загальної методики дослідження (рис. 3.1).



Рисунок 3.1 – Схема загальної методики дослідження

Метою експериментального дослідження є збір і обробка статистичних даних щодо ДВЗ ЯМЗ-238.11-240 для обґрунтування періодичності діагностування, аналіз експлуатаційних витрат під час проведення всіх видів технічних впливів, розробка за діагностичними параметрами маршрутних схем відновлення працездатності двигунів, розробка технології проведення діагностування.

Програма робіт включала лабораторні та стендові випробування. При цьому експериментально розв'язувалися задачі вимірювання тиску і температури в момент повороту кривошипа колінчастого вала на такті стиснення, за якого досягаються максимальні значення досліджуваних величин.

Випробувальний стенд укомплектований приладами та обладнанням, що дає змогу визначати температуру і тиск, які відповідають певному куту повороту кривошипа колінчастого вала. Прилади дають змогу визначити всі ці параметри з точністю до $\pm 5\%$. Систему збору та оброблення інформації виконували відповідно до вимог ГОСТ 17509-2003, методику стендових випробувань за планом випробувань відповідно до ГОСТ 14846-2003.

Напрацювання до заміни деталей, механізмів двигуна визначали за одометром автомобіля, дорожніми листами, паспортом технічного засобу, щоквартальними зведеннями, актами та довідками про напрацювання. Вимірювання діагностичних показників сполучень двигуна в експлуатації здійснювали за сертифікованими відповідно до ДСТУ пристроями та спеціально розробленими й запатентованими.

Обсяг вибірки двигунів визначали за формулою [14]:

$$N = \frac{t_a^2 \cdot V^2}{E^2}, \quad (3.1)$$

де t_a - коефіцієнт Ст'юдента, відповідно до довірчої ймовірності (визначається за відповідною таблицею);

V - коефіцієнт варіації;

E - відносна точність обчислення.

Імовірність безвідмовної роботи ДВЗ визначається [14, 20, 21]:

$$P(L) = \frac{N_0 - n}{N_0}, \quad (3.2)$$

де N_0 - число двигунів, що перебувають під наглядом;

n - число двигунів, що відмовили, за наробіток або пробіг від 0 до L км.

Критерієм відмови вважається зняття двигуна в ремонт. Кількість двигунів, що відмовили, за наробіток у певному інтервалі визначали множенням об'єму вибірки на аналітичне значення частоти в цьому інтервалі та підсумовуванням із попереднім значенням.

Експериментальні дані характеризуються такою умовою, що кожному значенню аргументу відповідає не строго визначена величина функції, а закон її розподілу. Діапазон даних може бути зумовлений впливом суб'єктивних або неврахованих чинників, різницею в кваліфікації діагноста, у технічному стані агрегатів сільгоспмашини, швидкісному та навантажувальному режимі.

Оцінку ступеня відповідності експериментальних даних та аналітичної лінійної залежності проводили за величиною коефіцієнта кореляції, а нелінійної – за кореляційним відношенням. Коефіцієнт кореляції [14]:

$$r = \frac{K_{XY}}{\sigma_X \cdot \sigma_Y}, \quad (3.3)$$

де K^{XY} – змішаний момент;

$\sigma_X \sigma_Y$ – відповідно, середньоквадратичне відхилення X і Y .

Кореляційне відношення:

$$\eta = \sqrt{\frac{\sigma_{YX}^2}{\sigma_Y^2}}, \quad (3.4)$$

де σ_{XY} – дисперсія результуючого фактора під впливом фактора X ;

σ_Y – дисперсія під впливом усіх факторів.

Цими положеннями визначали наведені параметри залежностей, визначали їхні похибки, проводили розрахунки на персональному комп'ютері.

3.2 Оцінка впливу герметичності камери згоряння на температурний режим ДВЗ

Дослідження з визначення впливу герметичності ЦПГ на температурний режим роботи двигуна проводили в два етапи. Експеримент містив у собі випробування прогрітого до робочої температури двигуна ЯМЗ-238.11-240 без займання робочої суміші. Результати експерименту, представлені в таблиці 3.1, свідчать про необхідність виконувати операції діагностування на прогрітому ДВЗ до робочих температур $-90...95^{\circ}\text{C}$.

Таблиця 3.1 - Температура в камері згоряння залежно від часу прогрівання ДВЗ

Час, хв.	№ циліндра			
	1	4	5	8
	Значення температури, С			
0	30	30	30	30
5	107	105	104	102
10	154	158	156	159
15	166	169	164	170
20	174	172	171	175
25	187	194	185	191
30	216	211	214	218
35	216	211	214	218

Загальний вигляд стенда для випробування ДВЗ представлений на рисунку 3.2.



Рисунок 3.2. – Загальний вигляд стенда для випробувань ДВЗ

На 2 етапі проводили часткове розбирання двигуна з метою вимірювання зношеності сполучуваних деталей ЦПГ. За даними табл. 3.2 можна сказати, що за сполученнями ДВЗ, які визначають ресурс, можна диференціювати групи деталей, що відрізняються за вартістю і ресурсом. Для кривошипно-шатунного механізму - колінчастий вал, для циліндропоршневої групи - гільзи циліндрів і поршні. За вартістю колінчастий вал, гільзи циліндрів і поршнева група істотно вищі за витратні матеріали –вкладиші і поршневі кільця.

При цьому, інтенсивність зношування шатунних і корінних вкладишів, поршневих кілець на порядок вища за інтенсивність зношування шийок колінчастого вала і гільз циліндрів, зокрема, в поясі зупинки верхнього компресійного кільця, що підтвердилося під час діагностування нами ДВЗ ЯМЗ-238.11-240 (рис. 3.3). Тобто ресурс базових деталей використовується недо-

статньо, тоді як ресурс порівняно дешевих деталей використовується повністю.

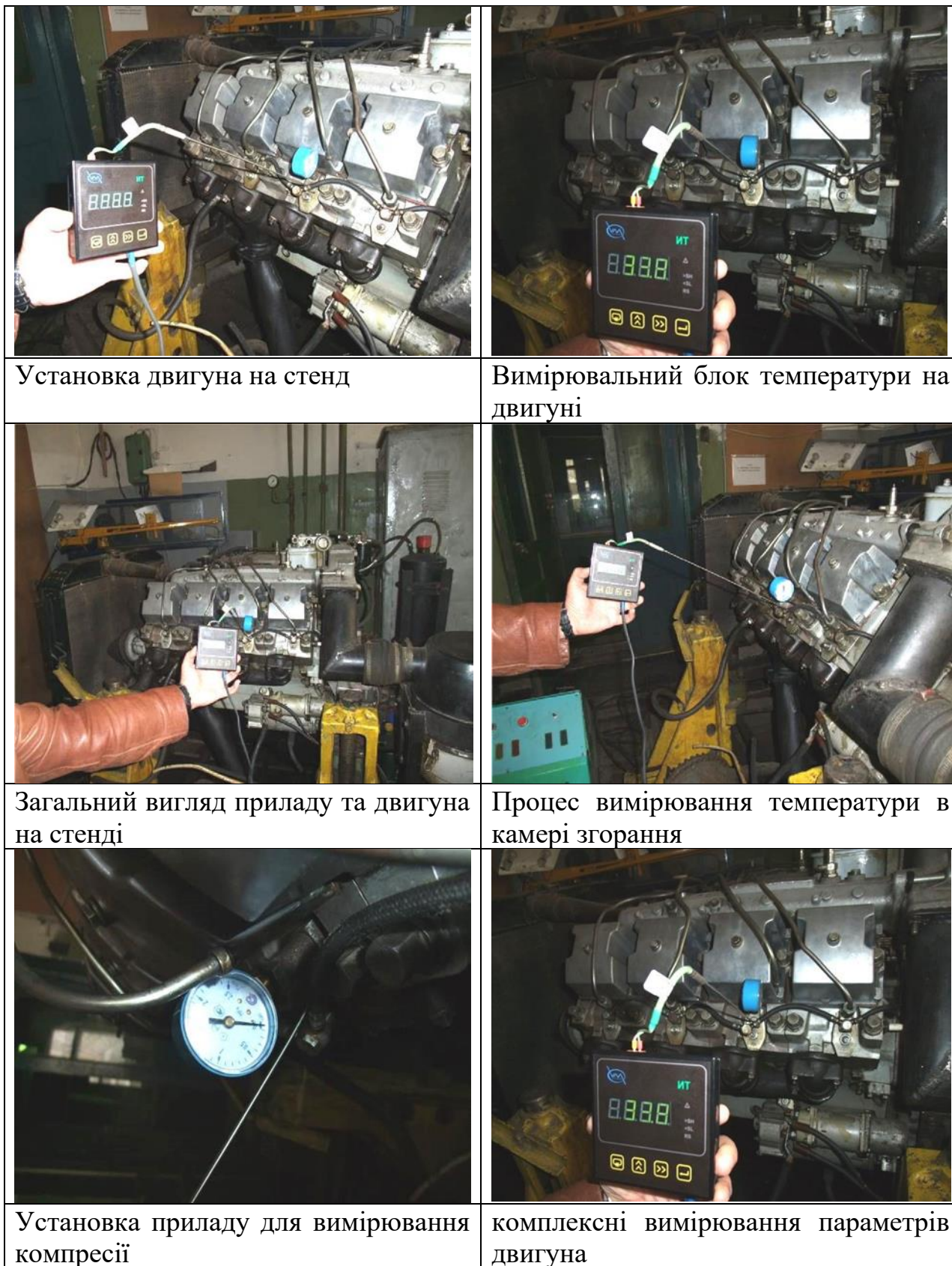


Рисунок 3.3 - Стенд зі встановленим пристроєм із компресометром і вимірвачем температури в камері згорання

Таблиця 3.2 - Показники граничних значень ДВЗ і ресурсу ДВЗ ЯМЗ-238.11-240

Показники технічного стану	Граничне значення	Середнє значення ресурсу, тис. км
Знос шатунних шийок, мкм	50	240
Знос корінних шийок, мкм	60	200
Зазор у шатунних підшипниках, мкм	220	150
Зазор у корінних підшипниках, мкм	250	120
Тиск у системі змащення, МПа:		
за 2600 хв ⁻¹	0,3	180
за 600 хв ⁻¹	0,1	180
Знос гільз циліндрів, мкм	220	240
Овальність гільз циліндрів, мкм	90	230
Радіальний знос верхнього компресійного кільця, мкм	130	130
Питома витрата масла на чад, %	2,5	170
Температура камери згоряння ДВЗ, °С.	205	240

Зношування сполучень двигуна в процесі експлуатації призводить до зміни структурних і діагностичних параметрів його роботи. Основними сполученнями двигуна, що визначають його ресурс, є сполучення кривошипно-шатунної і циліндропоршневої груп. З усіх причин зняття в капітальний ремонт двигунів, наприклад ЯМЗ-238.11-240, на частку циліндропоршневої групи припадає до половини відмов. У табл. 3.3 і 3.4 наведено параметри експоненціальної залежності (2.2) і розподілу показників технічного стану деталей двигунів ЯМЗ-238.11-240, знятих у капремонт. Їх необхідно враховувати під час розрахунку періодичності діагностування ДВЗ.

При цьому знизиться питома витрата масла на угар, підвищиться тиск у системі змащення ДВЗ. Велике значення має своєчасне проведення регулювальних робіт за результатами діагностування.

Відхилення основних регулювань паливної апаратури від нормальних установлених значень дуже впливає на знос деталей циліндропоршневої групи і кривошипно-шатунного механізму та надійність двигуна.

Таблиця 3.3– Параметри експоненціальної залежності (2.2) показників технічного стану автомобілів ЯМЗ-238.11-240

Показники технічного стану	α	b	r	P
Витрата масла на угар у % до витрати палива	0,763	0,00830	0,959	0,998
Знос корінних шийок колінчастого вала	21,6	0,00453	0,967	0,992
Знос шатунних шийок колінчастого вала	18,5	0,00430	0,959	0,988
Знос нижніх корінних вкладишів	47,3	0,00491	0,972	0,998
Знос верхніх корінних вкладишів	32,9	0,005	0,982	0,996
Знос нижніх шатунних вкладишів	26,5	0,00455	0,987	0,998
Знос верхніх шатунних вкладишів	31,8	0,00444	0,973	0,996
Зазор у корінних підшипниках	165,0	0,00303	0,967	0,957
Зазор у шатунних підшипниках	145,0	0,00233	0,968	0,956
Зазор у сполученні "канавка поршня - кільце":	119	0,00558	0,965	0,991
- верхнє компресійне	87	0,00472	0,978	0,987
- друге компресійне - маслоснімне	60	0,00397	0,937	0,996

Таблиця 3.4 – Параметри розподілу показників технічного стану деталей двигунів ЯМЗ-238.11-240, знятих на КР, мкм

Показники технічного стану	Капітально			
	не ремонт- ваних		відремонтованих	
	m	σ	m	σ
Знос гільз циліндрів у поясі зупинки верхнього компресійного кільця у ВМТ у площині гойдання шатуна	160	59	150	42
Овальність гільз циліндрів у тому самому	38	21,5	28	15

поясі				
Радіальний знос верхніх компресійних кілець	320	442	230	367
Радіальний знос нижніх компресійних кілець	175	205	131	182
Радіальний знос маслосніжних кілець	182	212	123	161
Зазор у стику верхніх компресійних кілець у калібрі діаметра 120+0,021 мм	175,0	42,7	161,0	39,8
Зазор у стику нижніх компресійних кілець	142,5	36,5	126,0	29,7
Знос шатунних шийок колінвала в площині кривошипа	37,6	19,5	46,5	26
Те саме в перпендикулярній площині	24	16	39,3	21
Знос корінних шийок колінчастого вала	20,5	9,4	13,9	23
Знос верхніх шатунних вкладишів	37,4	23,4	31,4	28
Знос нижніх шатунних вкладишів	25,2	17,4	23,4	14,7
Знос верхніх корінних вкладишів	40,1	24,5	31,1	41,8
Знос нижніх корінних вкладишів	31,3	29	22,5	36

m - середнє значення; σ - середньоквадратичне відхилення.

При порушенні регулювань паливної апаратури ДВЗ, параметр потоку відмов двигунів ЯМЗ-238.11-240 вищий приблизно в 2 рази при середній кількості відмов – в 1,5 рази. При цьому середнє напрацювання на відмову зменшується в 1,7 рази, тоді як час простою, пошуку несправності, відновлення і простою збільшується в 1,4 рази, як порівняти з відрегульованим ДВЗ. Погіршує процес комплексне порушення регулювань систем і механізмів автотракторних двигунів.

Аналіз технічного стану двигунів ЯМЗ-238.11-240, що надійшли в КР за останні 3 роки, показав, що до половини з них потрапляли в ремонт через зношування і відмови ЦПГ. Отже, технічний стан ЦПГ більшою мірою ви-

значає ресурс двигуна. За даними вчених, відмови автомобілів і тракторів із двигунами сімейства ЯМЗ із конструктивних причин становлять 21,3 %, із технологічних –31,3%, а експлуатаційних –47,4 %.

Розглянуті засоби діагностування не достатні для вирішення поставлених завдань. Для діагностування дизельних двигунів випускається велика кількість обладнання. Однак, як показує аналіз каталогів заводів-виготовлювачів технологічного обладнання, номенклатура обладнання, що випускається в нашій країні для діагностування двигунів, має недостатньо широкий спектр.

Приладова реалізація ефективних розробок науково-дослідних організацій не знайшла широкого застосування в практиці, часто обмежуючись виготовленням одиничного екземпляра або випуском дрібної серії приладів. Ці обставини не дають змоги підібрати нині єдиного комплекту приладів і обладнання, який давав би змогу оцінити технічний стан дизельного двигуна.

Застосовуваний нині для ресурсного діагностування кривошипно-шатунної групи метод лінійних переміщень, який ґрунтується на осьовому переміщенні поршня в ділянці ВМТ під дією тиску та розрідження, не відповідає сучасним вимогам у зв'язку з великою похибкою, що сягає 20...25%, та значною трудомісткістю діагностування, яка становить 0,9... 2,6 люд.-години. Тому, до теперішнього часу двигуни продовжують направляти в ремонт, зокрема виходячи з планового міжремонтного напрацювання, багато хто з них ремонтується передчасно. Практика впровадження обладнання для безрозбірної оцінки технічного стану машин і механізмів свідчить про реальне скорочення експлуатаційних витрат. Економія досягається за рахунок підвищення на 10...15% безвідмовності машин, збільшення фактично використовуваного ресурсу на 20%, скорочення на 30...40% передчасних ремонтів [14, 17]. У зв'язку з цим створення більш ефективних методів і засобів діагностування технічного стану шатунних підшипників залишається актуальним завданням. Тому, одним із завдань цього дослідження стало розроблення пристрою діагностування ДВЗ за температурою в камері згоряння. У комплексі з вимірю-

ванням тиску в камері згоряння ці пристрої відповідатимуть усім вимогам інформативності діагностичної інформації.

На практиці ступінь зносу двигуна і потребу в його ремонті встановлюють за низкою непрямих ознак, таких як витрата пального, моторного масла, падіння тиску в системі змащення, падіння потужності. Очевидно, що точність діагнозу за зазначеними показниками відносна, і не дає змоги визначити стан і ступінь зношеності циліндрпоршневої групи двигуна, дати об'єктивну оцінку проведеного ремонту або ж надати інформацію, що дає змогу прогнозувати залишковий ресурс ЦПГ. Вимірюючи температуру в камері згоряння (без подачі паливно-повітряної суміші), можна судити про стан даного сполучення.

Сполучення "поршень-циліндр-поршневе кільце" належить до таких, що саморозвантажуються, оскільки тиск на поверхні тертя в міру зносу сполучення зменшується в процесі експлуатації. Знос циліндрів і поршневих кілець за однакових зовнішніх умов роботи залежить від дії двох основних чинників: тиску газів і пружності поршневих кілець.

Падіння потужності двигуна відбувається через зменшення ущільнювальної здатності поршневих кілець, герметичності камери згоряння, пружності поршневого кільця і зміни форми гільзи. Що більше відхилення форми гільзи в поперечному перерізі від циліндричної та що менша пружність поршневого кільця, то більша змінюється прилеглість кільця до гільзи.

Площа просвіту між кільцем і гільзою пропорційна зносу гільзи на величину d , тоді зазор у стику кільця збільшиться на величину πd , пружність поршневого кільця зменшиться на величину коефіцієнта пропорційності $b\pi d$. Тому, можна говорити про лінійність залежності прилеглості кільця (герметичності камери згоряння) та його пружності (зносу гільзи).

За експериментальними даними [14], тиск стиснення і згоряння зменшується пропорційно до площі просвітів, зменшується температура такту стиснення. Такі закономірності та наведені параметри розподілів показників

технічного стану справедливі за величини відносної площі просвіту поршневих кілець до 10%.

3.3. Висновки

1. Розроблено схему загальної методики дослідження, з урахуванням чинних державних стандартів обрано розрахункові формули щодо мінімального об'єму вибірки для експерименту, ймовірності безвідмовної роботи, коефіцієнту кореляції аналітичних та експериментальних залежностей.

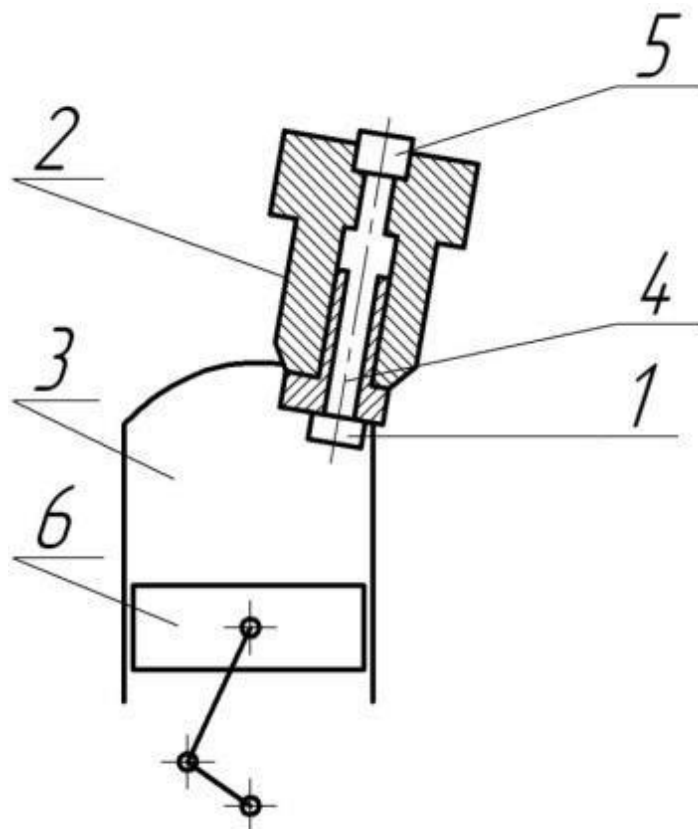
2. Експериментально обґрунтовано температуру прогріву двигуна в діапазоні 90...95°C, за якої рекомендується проводити діагностування циліндропоршневої групи ДВЗ.

3. Параметри технічного стану основних сполучень ДВЗ ЯМЗ-238.11-240, значення параметрів розподілу показників технічного стану деталей ДВЗ, знятих у КР, необхідно враховувати при розрахунку періодичності діагностування циліндропоршневої групи.

РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА ЗАСОБУ ДІАГНОСТУВАННЯ ДВЗ

4.1 Розроблення пристрою діагностики циліндропоршневої групи ДВЗ

Загальний вигляд пристрою для діагностування ЦПГ представлено на рисунках 4.1, 4.2. Пристрій містить термопару 1, закріплену в корпусі 2. В якості корпусу може бути використано корпус штатної форсунки ДВЗ, що забезпечує легкознімне, але герметичне кріплення до двигуна. При цьому термопара кріпиться до частини корпусу пристрою, що знаходиться в камері згоряння 3 ДВЗ. Термопара 1 за допомогою приєднаного до неї дроту, пов'язана з блоком реєстрації 5, що розміщується в будь-якому зручному для огляду місці.



1 – термопара; 2 – корпус; 3 – камера згоряння; 4 – канал; 5 – блок реєстрації; 6 – поршень

Рисунок 4.1 – Пристрій для діагностування ДВЗ

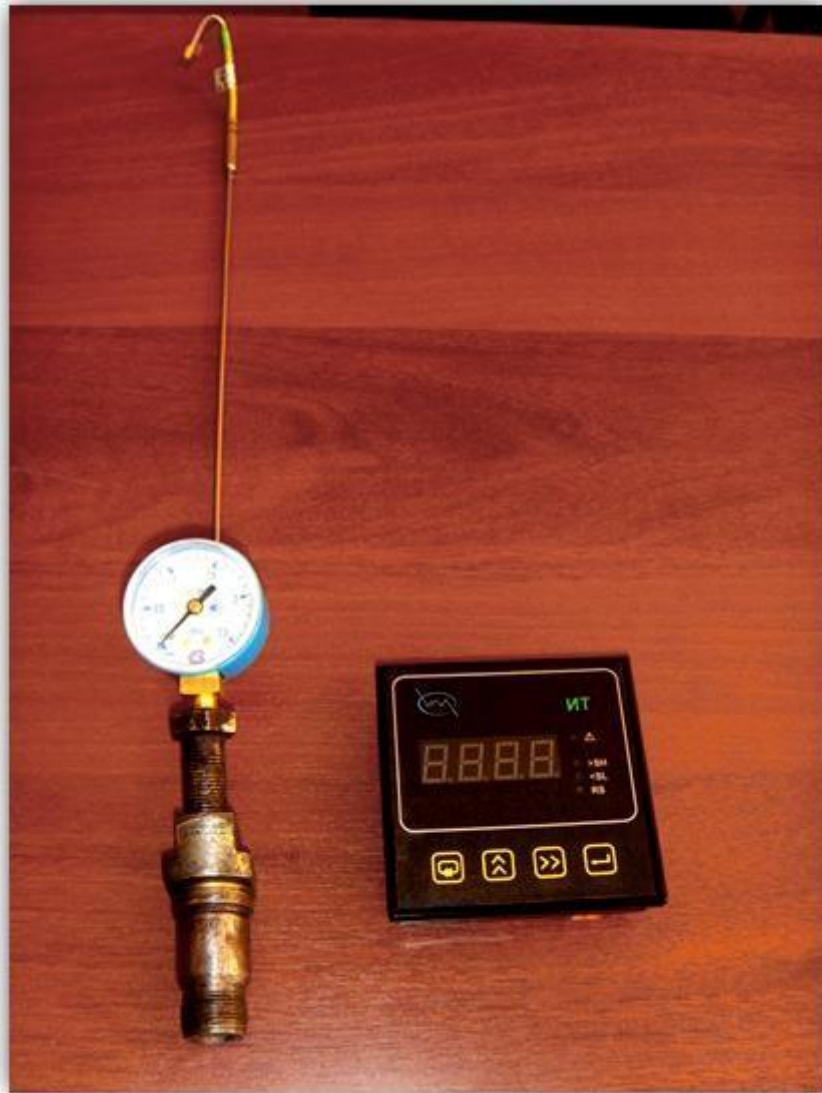


Рисунок 4.2 – Фото пристрою для діагностування ДВЗ з блоком реєстрації

Блок реєстрації містить цифровий перетворювач, який перетворює сигнали термопари в одиниці температури з точністю зчитування 0,1 °С. Діагностичний блок монтується в місці розташування блоку впорскування, а термопара розміщується в камері згоряння двигуна, не контактуючи з будь-якими компонентами двигуна. Під час діагностики двигун ЯМЗ, прогрітий до робочої температури, запускається в режимі холостого ходу (850 хв-1). Результати показують, що температура повітряно-масляної суміші в прогрітому двигуні становить 205-240 °С, залежно від стану зносу поршневих кілець і гіль-

зових з'єднань. Схема розміщення обладнання на двигуні внутрішнього згоряння в лабораторних умовах показана на рисунку 4.3.



Рисунок 4.3 – Діагностування двигуна

З метою визначення частоти обертання колінчастого валу, яка була б корисною при діагностуванні за допомогою даного приладу, в лабораторних умовах було проведено експериментальне дослідження робочого діапазону частот обертання колінчастого валу. В результаті лабораторних досліджень було встановлено, що для стабілізації температури в камері згоряння без запалювання двигун внутрішнього згоряння повинен бути прогрітий до 90-95 °С на найнижчій частоті обертання колінчастого валу. Було досліджено зміну температури в камері згоряння без запалювання (діагностичний параметр) внаслідок негерметичності гільзи циліндра та зносу упорного паска над ком-

пресійним кільцем (конструктивний параметр), результати наведено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 - Зв'язок діагностичного параметра–температури в камері згоряння T , витоків у сполученні "поршень–кільце–гільза" (%) зі структурним зносом S гільзи циліндрів у поясі зупинки верхнього компресійного кільця, мкм

T , °С	238-242	234-237	228-231	221-224	205-210
L , тис.км.	105	117	141	148	163
S , мкм	98-103	113-115	129-132	143-146	159-162

4.2 Обґрунтування залежності діагностичного параметра–температури в камері згоряння від структурного зносу гільзи циліндрів у поясі зупинки верхнього компресійного кільця

Встановлено, що граничний стан циліндропоршневої групи настає за температури в камері згоряння 205...210°С, що відповідає зносу гільзи циліндрів у поясі зупинки верхнього компресійного кільця 155 мкм. Розподіл значень діагностичного параметра дав змогу визначити параметри експоненціального закону зміни температури в камері згоряння від зносу гільзи циліндра. Температура в камері згоряння без займання від пробігу ДВЗ експоненціально зменшується (рис. 4.4). Досліджувалася ймовірність роботи двигунів за температурою в камері згоряння. За основу взято граничний знос гільзи циліндрів у поясі зупинки верхнього компресійного кільця.

Для аналізу взаємозв'язку між діагностичними показниками (температура в камері згоряння) і структурними показниками (знос гільзи циліндра по верхньому стопорному поясу компресійного кільця) були проведені експлуатаційні та лабораторні випробування. На основі проведених вимірювань були отримані значення лінійної залежності діагностичних параметрів від структурних параметрів, що характеризують високий коефіцієнт кореляції між аналітичними та експериментальними дослідженнями (рис. 4.5).

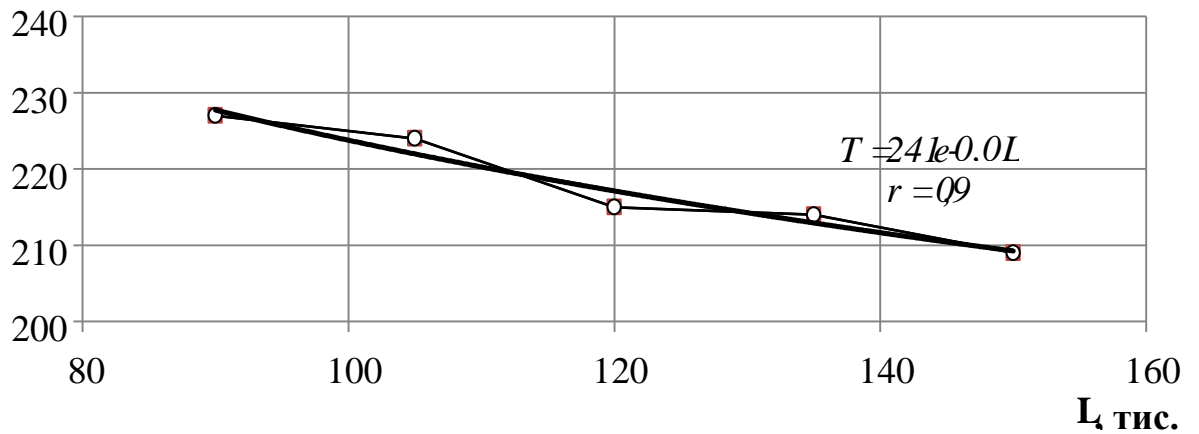


Рисунок 4.4—Залежність температури в камері згоряння без займання від пробігу ДВЗ

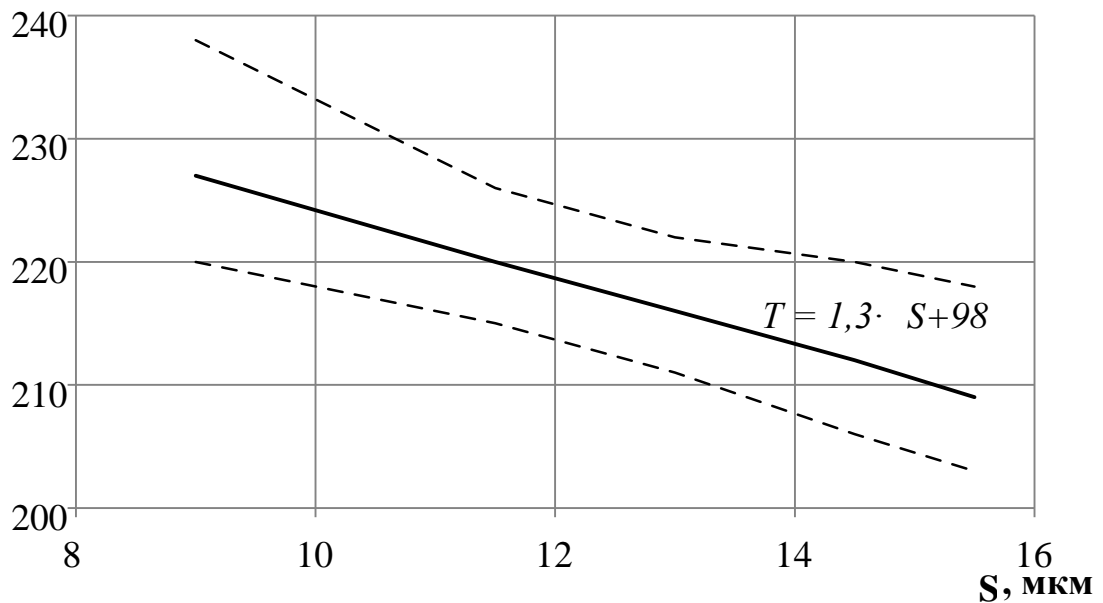


Рисунок 4.5 – Залежність діагностичного параметра T від структурного S

Стенд для випробування діагностичного обладнання для циліндро-поршневої групи двигунів внутрішнього згоряння оснащений приладами і пристроями для визначення температури і тиску, що відповідають заданому куту повороту колінчастого валу. Обладнання дозволяє визначати всі ці параметри з точністю $\pm 5\%$. Для визначення температури і компресії технічний стан ЦПГ діагностували за температурою в камері згоряння, завдяки власній

розробці автора. Роботи з визначення впливу герметичності ЦПГ на температуру двигуна проводили в два етапи. Експерименти включали випробування на двигуні ЯМЗ-238.11-240, прогрітому до робочої температури без запалювання.

4.2. Висновки

1. Розроблено ефективний засіб діагностики технічного стану циліндропоршневої групи ДВЗ за температурою в камері згоряння без займання. Новизна пристрою підтверджується патентом на корисну модель.

2. Обґрунтовано зв'язок діагностичного параметра – температури в камері згоряння зі структурним – зносом гільзи циліндрів у поясі зупинки верхнього компресійного кільця, що характеризується високим коефіцієнтом кореляції (0,9).

3. Отримано експоненціальну залежність температури в камері згоряння від пробігу ДВЗ, визначено параметри залежності та коефіцієнт кореляції.

4. За допомогою градієнтного методу було показано, що температура суміші в камері згоряння залежить від таких важливих факторів, як тиск і герметичність камери згоряння двигуна внутрішнього згоряння, що ще раз доводить придатність запропонованого діагностичного пристрою.

РОЗДІЛ 5. АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

5.1 Удосконалення алгоритму і технологічного процесу діагностування ДВЗ ЯМЗ-238.11-240

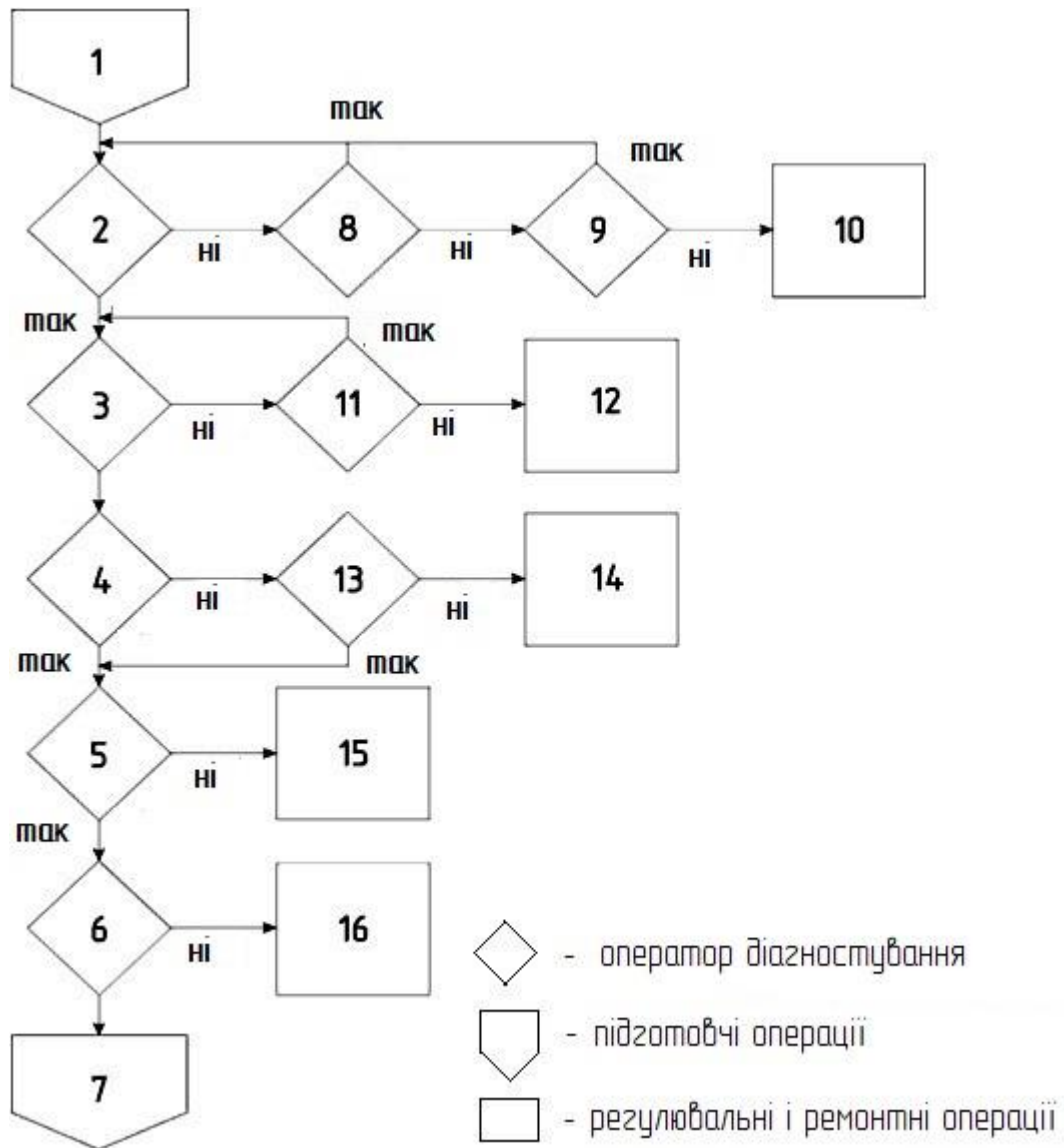
Основною метою процесу технологічного діагностування двигунів ЯМЗ є забезпечення контролю та відновлення працездатності двигуна. Це досягається шляхом виявлення відхилень у системах двигуна та виконання поточних ремонтів або регулювальних робіт.

Алгоритм діагностування двигунів складено на основі технологічного процесу (див. рис. 5.1). Номери позицій відповідають номерам операцій у технології діагностування. Вертикальна гілка цього алгоритму представляє систему послідовного пошуку основного алгоритму, який має два можливих результати: позитивний ("так"), якщо діагностичні параметри відповідають нормативам, і негативний ("ні"), якщо ні. У разі позитивного результату виконують наступну операцію, а в разі негативного виявляють несправності для усунення регулювальними роботами або направляють автомобіль у зону технічного обслуговування.

Після виконання підготовчих операцій та прогріву двигуна проводять вимірювання. Однією з операцій є визначення витрати масла на угар до передремонтного діагностування в експлуатації, спостерігаючи за об'ємом доливаного масла та пального (співвідношення не більше 1:50). У випадку перевищення співвідношення виконують операцію 8 – діагностування герметичності циліндро-поршневої групи, що впливає (поряд із операцією 9) на витрату масла на угар.

Деякі операції, зокрема 2 та 8, можуть бути виконані за допомогою розробленого пристрою. Це дозволяє визначити стан кілець, їхню пружність, можливу поломку, а також знос чи задир циліндрів, втрату герметичності

клапанів і прокладки головки циліндрів [13]. Крім того, проводиться перевірка та, за необхідності, регулювання зазорів в клапанному механізмі.



1 - зовнішній огляд, прослуховування ДВЗ; 2 - температура в камері згоряння; 3 - димність вихлопних газів; 4 - тиск у системі змащення; 5 - прогин шатунних вкладишів; 6 - сумарне переміщення поршня у ВМТ; 7 - експлуатація; 8 - герметичність ЦПГ; 9 - зазори в клапанному механізмі; 10 - ТР ЦПГ і газорозподільного механізму; 11 - кут випередження і тиск уприскування; 12 - ПД паливної апаратури; 13 - продуктивність масляного насоса; 14 - ПД системи змащення; 15 - ПД шатунних підшипників; 16 - ПД підшипників колінчастого вала зі зняттям двигуна.

Рисунок 5.1 - Алгоритм діагностування двигунів ЯМЗ

Якщо регулювання співвідношення витрати оливи/палива не допомагає, необхідне регулярне технічне обслуговування циліндро-поршневої групи і газорозподільного механізму двигуна внутрішнього згоряння.

Якщо ж витрата масла на угар не перевищує необхідного співвідношення в результаті проведення профілактичних робіт або без них, виконують операцію 3 – діагностику димності вихлопних газів. Нормальним вважається рівень димності не більше 50 одиниць. У разі перевищення цього значення діагностують паливну систему двигуна (операція 11) за двома параметрами: тиском початку впорскування палива і кутом випередження впорскування палива. Якщо після регулювання рівень димності не знизився, необхідно виконання операції 12. Якщо діагностичний параметр відповідає необхідному, переходять до виконання операції 4 - вимірювання тиску в системі змащення, для чого запускають двигун і вимірюють значення тиску в системі змащення на мінімальному і номінальному швидкісних режимах. Тиск має бути відповідно не менше 0,1 МПа і 0,26 МПа. Якщо виявлено менше значення, потрібно перевірити продуктивність масляного насоса. Якщо не вдається підняти тиск регулюванням редуційного клапана, необхідно виконати регулювальну і (або) ремонтну операцію 14. За задовільного тиску в системі змащення вимірюють прогин вкладишів за методикою. У табл. 5.1 представлено результат розрахунку періодичності діагностування за методикою [12, 15].

Регулярна діагностика температури камери згоряння надає інформацію про технічний стан обладнання та, за необхідності, визначає виконання технічних втручань для підтримання його працездатності. Запропонований технічний процес включає попередню діагностику технічного стану двигуна за стандартними параметрами відповідно до розробленого алгоритму. Після завершення процесу діагностування результати заносяться в діагностичний квадрокоптер і робиться висновок про технічний стан двигуна на основі конкретної діагностики, виконаної за сукупністю діагностичних параметрів.

Розроблений алгоритм діагностики був протестований в умовах експлуатації 48 автомобілів з пробігом до 300 000 км. Результати показали,

що 16% двигунів мали аномальне випередження впорскування палива, 15% - значне відхилення шатунних підшипників, 25% - перевищення тиску в системі змащення і така ж кількість - перевищення температури в камері згоряння. Слід звернути увагу на табличні дані щодо інших діагностичних параметрів (Таблиця 5.1).

Таблиця 5.1–Допустимі значення параметрів ДВЗ у сформованих кластерах перед ПР (у чисельнику), і КР (у знаменнику)

№ з/п	Показник технічного стану	ДВЗ ЯМЗ- Євро
Кластер № 1		
1.	Знос шатунних шийок у площині кривошипа, мкм	35/50
2.	Овальність шатунних шийок, мкм	15/25
3.	Знос шатунних вкладишів, мкм	45/50
4.	Зазор у шатунних підшипниках, мкм	200/220
5.	Прогин шатунних вкладишів, мкм	20/40
6.	Товщина шару масла в шатунних підшипниках, мкм	15/15
Кластер № 2		
7.	Знос корінних вкладишів, мкм	70/80
8.	Сумарне переміщення поршня у ВМТ, мкм	40/60
9.	Зазор у корінних підшипниках, мкм	250/270
10.	Тиск у системі змащення: - номінальний режим, МПа - мінімальний режим, МПа	0,32/0,30 0,14/0,12
Кластер № 3		
11.	Знос гільз циліндрів у верхньому поясі в площині гойдання шатуна, мкм	132/160
12.	Овальність гільз циліндрів у верхньому поясі, мкм	60/90
13.	Радіальний знос верхніх компресійних кілець, мкм	130/130

14.	Радіальний знос маслоснімних кілець, мкм	60/60
15.	Зазор у сполученні "канавка поршня - верхнє компрес. кільце", мкм	260/260
16.	Знос гільз циліндрів у верхньому поясі в площині гойдання шатуна, мкм	120/120
17.	Температура в камері згоряння без займання, °С	231/210

На рис. 5.2 наведено розподіл пробігу автомобілів до КР двигунів у разі застосування проміжних діагностувань, з якого видно, що ресурс двигунів, які проходили ПД, збільшився на 12...13%, а ймовірність безвідмовної роботи наблизилася до значень, наявних після КР. Таким чином, за середнього пробігу автомобілів 280 тис. км. до КР, ПР за результатами ПД дасть змогу обійтися без КР за весь термін служби ДВЗ.

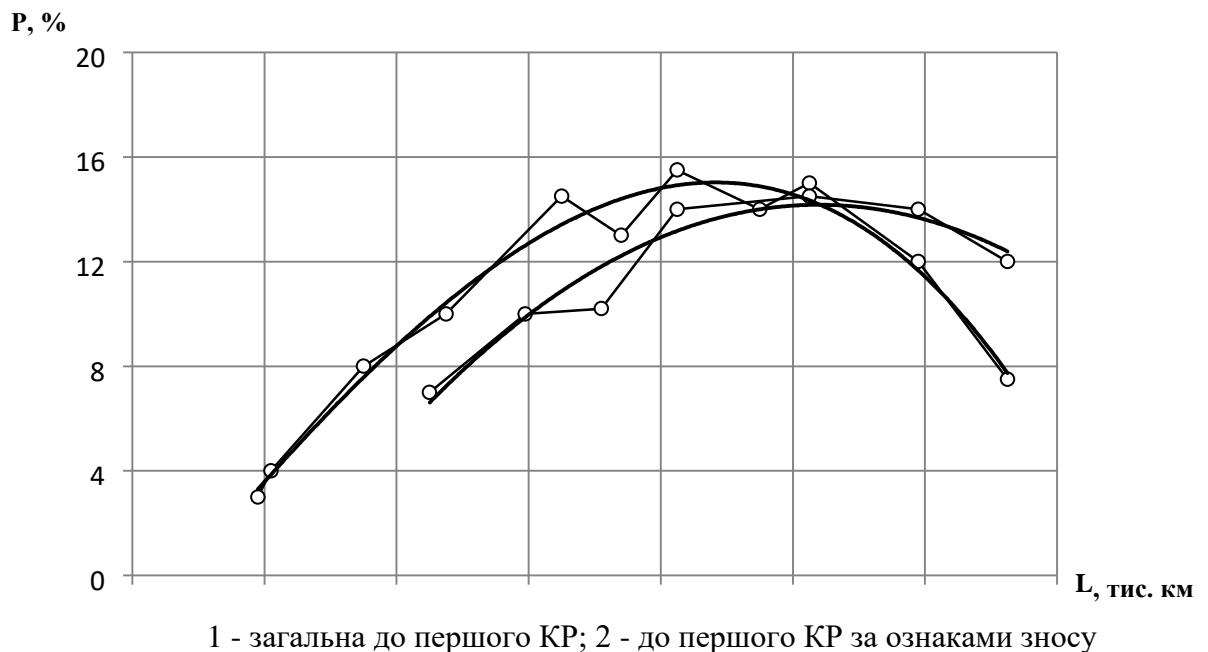


Рисунок 5.2 - Розподіл пробігу 1 до КР двигунів за результатами ПД

Таким чином, за середнього пробігу автомобілів 280 тис. км. до КР, ПР за результатами діагностування дасть змогу обійтися без КР за весь термін служби ДВЗ.

5.2 Розрахунок періодичності діагностування автотракторних ДВЗ та її вплив на ресурс

Особливості сучасного автосервісу висувають на перший план завдання скорочення термінів поточних ремонтів ДВЗ і підвищення якості за мінімальних витрат. Виконання цих завдань можливе за допомогою планування періодичності діагностування з метою своєчасного виконання ПР, ухвалення рішень щодо яких ґрунтується на розробленні та оцінці нормативів діагностичних параметрів деталей ДВЗ. Розрахунок виконувався за відомою методикою [27]. Визначення періодичності діагностування дизеля ЯМЗ-238.11-240 проводилося за техніко-економічним методом. Цей метод передбачає мінімізацію сумарних питомих витрат на діагностику, ТО і ПР.

Для цього було визначено вартість діагностики дизеля ЯМЗ238.11-240 для підприємства:

$$D = B_{з/п} + B_{п} + B_{а} , \quad (5.1)$$

де $B_{з/п}$ - витрати на заробітну плату працівника;

$B_{п}$ - витрати на податки;

$B_{а}$ - витрати на амортизаційні відрахування.

Мінімальні питомі витрати можна отримати за оптимальної періодичності обслуговування (1). При цьому питомі витрати на діагностування визначаються за формулою:

$$C'_{д} = \frac{D}{l} , \quad (5.2)$$

де l - періодичність ТО;

D - разові витрати на діагностування ДВЗ.

Також можна розрахувати оптимальну періодичність ТО і ПР, але необхідно врахувати, що збільшення пробігу до проведення діагностування і ТО ДВЗ підвищує ймовірність відмови і збільшує питомі витрати на ПР.

Виходячи з цього визначити мінімальні сумарні питомі витрати можна за формулою:

$$C_{\Sigma} = C'_{Д} + C'_{ТО} + C'_{ПР}, \quad (5.3)$$

де $C'_{Д}$ – питомі витрати на діагностування;

$C'_{ТО}$ – питомі витрати на ТО;

$C'_{ПР}$ – питомі витрати на ПР.

Для визначення оптимальної періодичності діагностування було прийнято середні показники оплати праці працівника-діагнosta в м. Дніпрі $B_{з/н}$ – 200 грн/год, витрати на відрахування податків $B_{п}$ – 50 грн/год, амортизаційні витрати $B_{а}$ – 0,2% від вартості обладнання.

Дані за питомими витратами на ремонт були отримані в ТОВ АТП 11263. Дані наведено в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Залежність питомих витрат на Д, ТО і ПР від періодичності діагностування

Періодичність ТО, км	24000	48000	72000	20000	96000	120000
Питомі витрати Д, грн/км	0,34	0,07	0,03	0,02	0,02	0,01
Питомі витрати ПР, грн/км	0,30	0,63	0,88	1,10	1,58	1,95
Питомі витрати на ТО, грн/км	1,00	0,50	0,33	0,25	0,20	0,17
Загальні витрати на Д, ТО і ПР, грн/км	1,64	1,19	1,24	1,37	1,80	2,13

За даними, наведеними в таблиці 5.2, експериментальної залежності сумарних питомих витрат на Д, ТО і ПР від періодичності діагностування, побудовано відповідну їй регресійну залежність, яка має такий вигляд:

$$C_{\Sigma} = a_1 \cdot l_3 + a_2 \cdot l_2 + a_3 \cdot l + a_4, \quad (5.4)$$

де a – регресійний коефіцієнт;

$$a_1 = -0,0208;$$

$$a_2 = 0,3149;$$

$$a_3 = -1,2077;$$

$$a_4 = 2,5444;$$

l – періодичність діагностування.

Регресійна залежність загальних питомих витрат на Д, ТО і ПР та експериментальні дані питомих витрат на Д, ТО і ПР від періодичності діагностування у формі графіка наведені на рисунку 5.3.

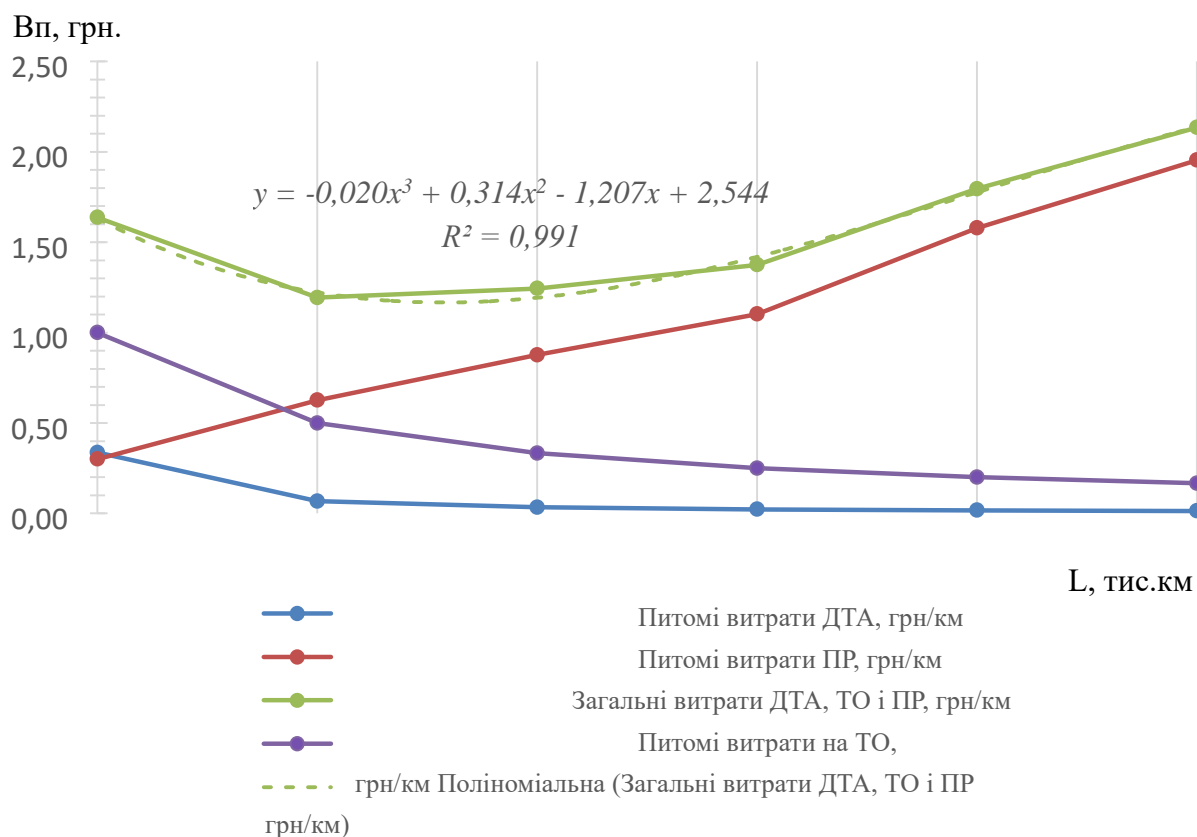


Рисунок 5.3 – Залежність питомих витрат $V_{п}$ на діагностування (Д), ТО і ПР та загальних питомих витрат від пробігу L

На основі наведених експериментальних та аналітичних даних отримуємо, що мінімальні загальні питомі витрати забезпечуються під час проведення діагностування через 24000 км.

Аналіз отриманих даних вказує на те, що мінімальні загальні витрати на обслуговування залишаються стабільними при періодичності діагностування від 23 000 до 25 000 км. Отже, для зменшення витрат раціонально включити роботи з діагностування дизеля ЯМЗ 238 в перелік робіт кожного другого ТО-2.

5.3. Висновок

1. Розроблено алгоритм і технологічний процес діагностування ДВЗ, практичні рекомендації та технологію проведення ПД для використання на автосервісних підприємствах.

2. Обґрунтовано періодичність ПД і ПР з одним капітальним ремонтом й без КР, розраховано експлуатаційні витрати протягом усього терміну служби двигуна.

3. Розрахунок сумарних питомих витрат за весь термін служби ДВЗ проведенням ТО, ПР та ПД показав, що на 11% знизяться витрати на підтримання двигунів у працездатному стані.

6. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

6.1. Аналіз керування системою охорони праці у АТП -11263

ДСТУ ISO 45001:2019 (ISO 45001:2018, IDT). У системі менеджменту професійного здоров'я та безпеки система менеджменту професійного здоров'я та безпеки є частиною загальноорганізаційної системи менеджменту, яка забезпечує управління ризиками у сфері професійного здоров'я та безпеки, пов'язаними з діяльністю організації [26].

Система управління охороною праці відповідно до АТП 11263 включає наступні документи:

- положення про систему управління охороною праці організації, ідентифікацію небезпек, оцінку та контроль ризиків, політику компанії в галузі охорони праці, службу охорони праці, спільний комітет з охорони праці тощо

- Правила внутрішнього трудового розпорядку;

- Програми, такі як вступний інструктаж з охорони праці, перший інструктаж з охорони праці на робочому місці, перший інструктаж групи компетентності з електробезпеки

- Накази про розподіл обов'язків; призначення осіб, відповідальних за розробку, впровадження та функціонування системи управління охороною праці в організації; призначення осіб, відповідальних за електрообладнання; забезпечення працівників засобами індивідуального захисту (ЗІЗ) тощо;

- Процедури;

- Керівні документи;

- Перелік законодавчих та нормативно-правових актів, у тому числі національних нормативно-правових актів з охорони праці, документів підприємства з питань охорони праці, безоплатної видачі спеціального одягу, спеці-

ального взуття та інших засобів індивідуального захисту з урахуванням специфіки діяльності організації;

- інструкції з охорони праці для працівників за професіями та категоріями посад; інструкції з надання першої медичної допомоги;

- журнали з охорони праці

- інформаційно-довідкові матеріали тощо.

Призначення відповідального за впровадження та функціонування системи ОП на АТП 11263, розподіл обов'язків між службами та відділами підприємства встановлюється наказом по підприємству.

Усі керівники відповідно до посадових обов'язків вирішують виробничі завдання в комплексі з питаннями охорони праці та несуть повну відповідальність за інженерне, кадрове та матеріально-технічне забезпечення безпечних і здорових умов праці, за проведення сертифікації постійних робочих місць на відповідність вимогам охорони праці, а безпосередні працівники - за додержання встановлених технологій, чинних інструкцій, норм і правил з охорони праці в межах посадових обов'язків. Схема служби охорони праці наведена на рис. 6.1.

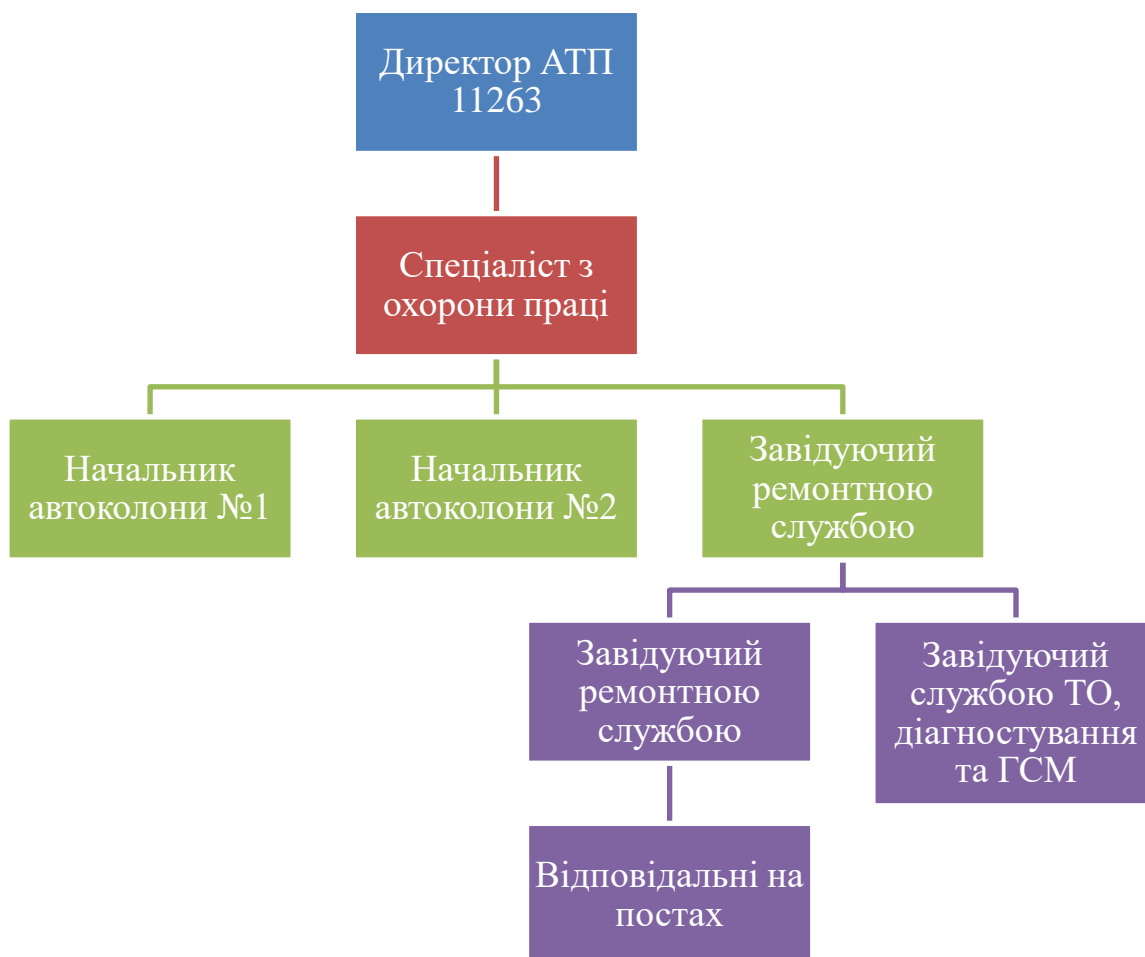


Рис. 6.1. Структура служби охорони праці АТП

6.2. Аналіз травматизму на виробничому об'єкті

Для проведення аналізу травматизму в АТП використовувався статистичний метод [27]. За цього методу аналізується заздалегідь визначене обмежене число показників нещасного випадку.

Одним із джерел статистичних даних на АТП є документи, в яких реєструються нещасні випадки (акти форми Н-1, листки непрацездатності).

Чисельність постраждалих при нещасних випадках у АТП 11263 за звітний 2022 рік склала 15 осіб. Порівняно з 2021 роком зареєстровано суттєве збільшення чисельності потерпілих на 1 особу (див. рисунок 6.2.).

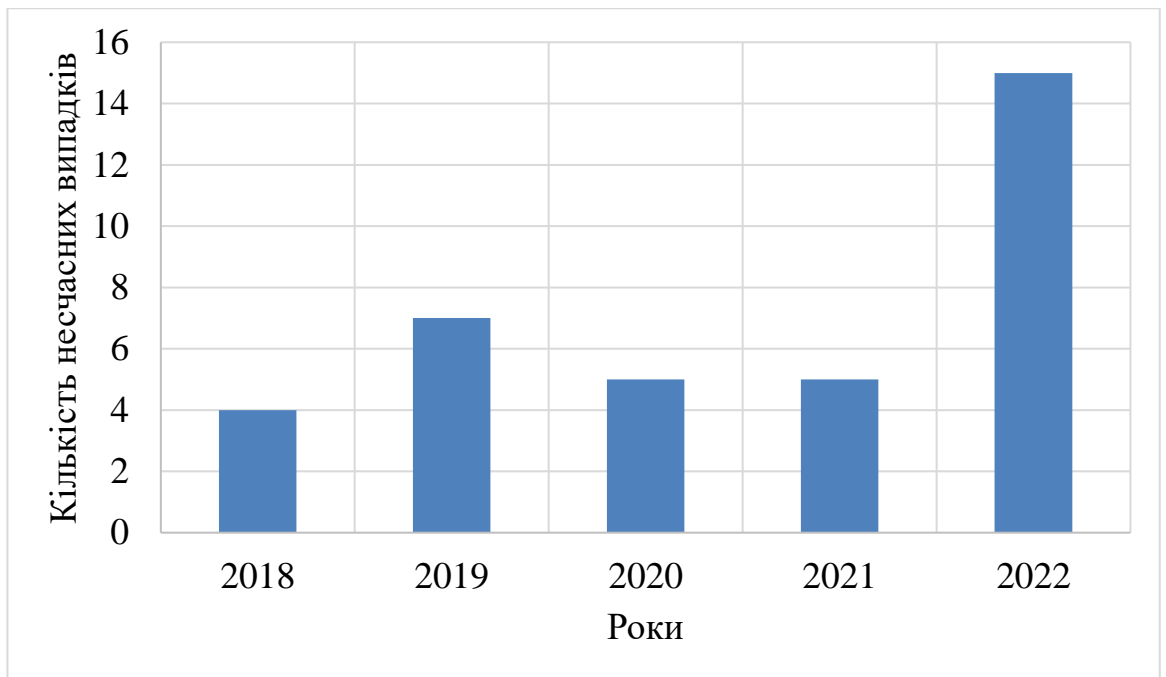


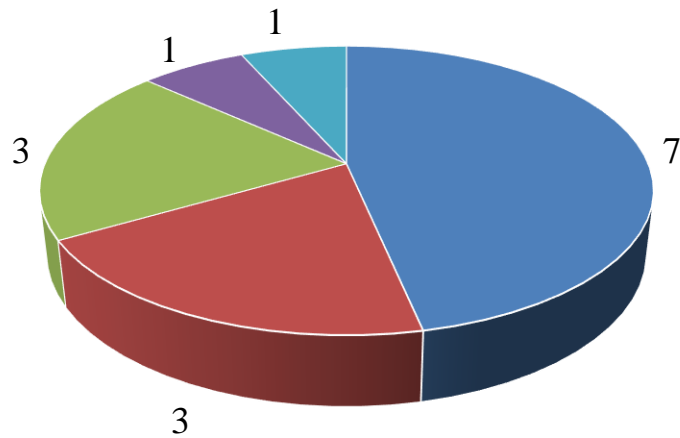
Рис. 6.2. Динаміка нещасних випадків та захворюваності

З графіку видно, що є спалахи нещасних випадків, а саме у 2019 році був спалах COVID-19 і в АТП були тривалі лікування робітників, а також 2 смертельні випадки. У 2022 році наприкінці вересня по території АТП російською армією було нанесено ракетний удар внаслідок чого було знищено близько 50 автобусів і 100 виведені з ладу, також зруйновано ремонтні цехи та гуртожиток, нажалі були людські жертви.



Рис. 6.3. Наслідки ракетного удару по території АТП

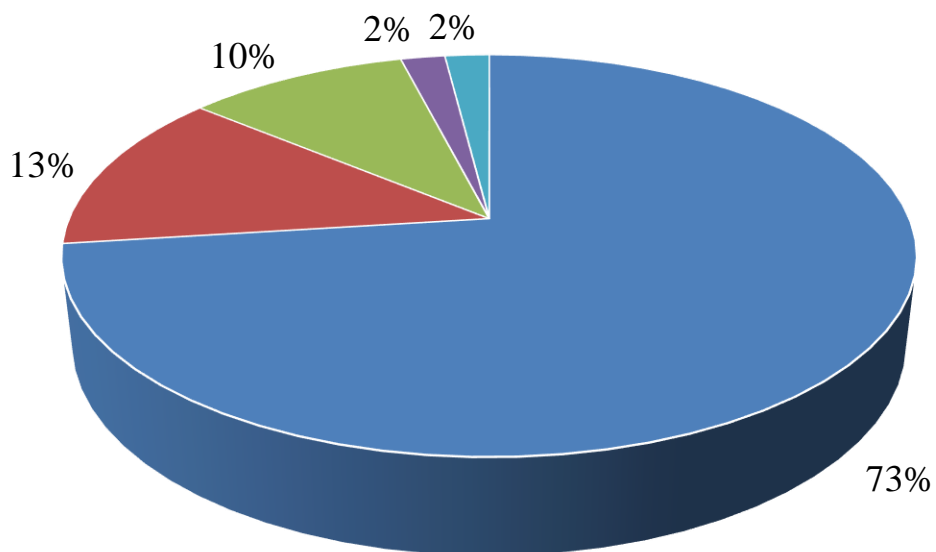
Нещасні випадки за професіями наведено на рис 6.4.



■ водій ■ слюсар ■ кондуктор ■ охоронець ■ інженерні робітники

Рис. 6.4. Несчастні випадки за професіями

З наведених даних випливає, що найбільш травмонебезпечними професіями за 5 років була професія водія (47%).



■ ДТП
 ■ Ураження вибуховими предметами
 ■ Травмування важкими пристосуваннями
 ■ Отруєння, опіки, обмороження
 ■ інші

Рис. 6.5. - Залежність нещасних випадків у АТП від травмуючих факторів

6.3. Захист у надзвичайних та аварійних ситуаціях

6.3.1 Вибір найбільш ймовірного аварійного сценарію

До найбільш небезпечних ситуацій належить пожежа, яка може виникнути з різних причин.

Основними причинами пожеж на об'єктах автомобільного транспорту є

- Необережне поводження з вогнем, порушення правил пожежної безпеки при проведенні зварювальних або інших вогневих робіт,
- Порушення правил експлуатації електрообладнання.
- Несправність опалювального обладнання або печей,
- Порушення режиму роботи опалювальних систем транспортних засобів,
- Порушення правил пожежної безпеки під час проведення акумуляторних або фарбувальних робіт,
- порушення правил зберігання легкозаймистих та горючих рідин.

6.3.2. пожежна безпека в установках та виробничих приміщеннях транспортних засобів

Території автомобільних терміналів утримуються в чистоті, а виробничі відходи систематично вивозяться. Знежирювальні матеріали та виробничі відходи збираються в спеціально відведених місцях і вивозяться в кінці робочої зміни.

Забороняються наступні види діяльності.

- Блокування доступу до первинної системи пожежогасіння та місць розташування внутрішніх пожежних кранів;
- Прибирання приміщень легкозаймистими та горючими рідинами; та

- Залишати будівлю не вимкненою від електромережі електронагрівальних приладів, електрообладнання, підключеного до електромережі, технічного обладнання та допоміжного устаткування після закінчення роботи печі;
- Робота з відкритим вогнем не за призначенням;
- Зберігання ємностей з легкозаймистими та горючими рідинами.

Під час технічного обслуговування та експлуатації автомобіля необхідно дотримуватися наступних правил пожежної безпеки. Агрегати та деталі необхідно чистити негорючими засобами. Деталі двигунів, що працюють на етилованому бензині, необхідно знешкоджувати шляхом промивання парафіном у спеціально відведених для цього місцях.

При визначенні типу та кількості первинних засобів пожежогасіння слід враховувати фізико-хімічні та пожежонебезпечні властивості горючих матеріалів, їх взаємодію з вогнегасними речовинами, а також площу виробничих приміщень, відкритих майданчиків та обладнання.

Встановлення первинних систем пожежогасіння в коридорах і проходах не перешкоджає безпечній евакуації людей.

Всі установки обладнані знаками пожежної безпеки відповідно до вимог ДСТУ EN ISO 7010:2019. Графічні символи. Кольорові та знаки безпеки (див. рис. 12) [28].

6.3.3. Евакуація людей та автомобілів під час пожежі

Безпека людей і транспортних засобів під час пожежі залежить від своєчасної і правильної евакуації. Для евакуації людей повинен бути підготовлений план евакуації і показані шляхи евакуації з урахуванням розташування виходів.

Кількість виходів з будівлі з кожного поверху та з приміщень має бути не менше двох.

Для об'єктів, де зберігається 25 і більше транспортних засобів, розробляється план розміщення транспортних засобів. Цей план описує послідовність і порядок евакуації транспортних засобів у разі пожежі, обов'язки водіїв у нічний час, у вихідні та святкові дні, а також порядок зберігання ключів запалювання.

Місця зберігання транспортних засобів, як закриті, так і відкриті, повинні бути обладнані буксирувальними тросами або фаркопами з розрахунку один на кожні 10 транспортних засобів.

Для забезпечення своєчасної евакуації транспортних засобів з пневматичною гальмівною системою на майданчиках для зберігання слід розміщувати тільки транспортні засоби з справною гальмівною системою.

Кількість транспортних засобів, що перебувають в експлуатації, не повинна перевищувати проектної місткості.

6.4. Висновок

У розділі проаналізовано роботу АТП та роботу служби охорони праці, а також розроблено план заходів щодо запобігання випадкам тероризму на транспорті. Також розглянуто питання забезпечення пожежної безпеки підприємства.

7. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

7.1. Розрахунок економічних показників

Проведені дослідження показують, що відмови настають задовго до вироблення ресурсу базових деталей, а відносно низькі напрацювання ДВЗ спричинені, зокрема, й відсутністю періодичного профілактичного діагностування технічного стану сполучень циліндропоршневої групи за температурою в камері згоряння, недосконалістю системи поточних ремонтів в умовах АТП 11263 із заміною деталей, що перебувають у граничному стані. З огляду на це, за призначеного заводом-виробником ресурсу ДВЗ ЯМЗ до КР, що дорівнює 240 тис. км для III категорії умов експлуатації, за цей період ДВЗ проходить не один КР, що призводить до додаткових витрат на запасні частини, а також до втрати залишкового ресурсу базових деталей.

Для двигунів, які виходять з ладу з причин зносу ЦПГ, можна продовжити термін експлуатації завдяки впровадженню в алгоритм діагностування вимірювання температури повітряно-масляної суміші в камері згоряння ДВЗ, що характеризує зношення гільзи циліндрів у поясі зупинки верхнього компресійного кільця.

У роботі наведено залежність витрати ДВЗ ЯМЗ-238.11240 у процесі експлуатації та середню фактичну їхню витрату, що дорівнює 27,3 двигунів на 100 автомобілів на рік. За даними [14, 17], 40% двигунів потребує поточного ремонту (через не проведені свого часу ПР за результатами ПД):

$$N_p^{NP} = 27,3 \cdot 0,4 = 10,9 \text{ двиг./100 авт. рік} \quad (7.1)$$

Економічна ефективність від своєчасного виявлення та усунення несправності визначатиметься зниженням витрат на дорогі ПР і КР двигунів і

збільшенням витрат на діагностування та заміну деталей. Відповідно до загальноприйнятої методики річний економічний ефект:

$$E=(B_T + B_{II}) \cdot A, \quad (7.2)$$

де A – річна продуктивність автомобіля, ткм;

B_T, B_{II} - наведені витрати відповідно при забезпеченні працездатності традиційним шляхом і з діагностуванням.

Витрати визначаються за формулою:

$$B=C+E_B \cdot K, \quad (7.3)$$

де C – собівартість перевезень, грн/10 ткм;

E_B - нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень;

K – питомі капітальні вкладення у виробництво, грн/10 ткм.

З урахуванням (5.2) і (5.3) отримаємо:

$$E=(C_T-C_{II}) \cdot A+A \cdot E_B \cdot (K_T-K_{II}), \quad (7.4)$$

Перша складова суми являє собою скорочення річних витрат від скорочення витрат на ПР за рахунок підвищення витрат на ПД, тобто:

$$(C_T-C_{II}) \cdot A=N^{mp}_p \cdot d \cdot S_p-(S_g-S_3), \quad (7.5)$$

де N^{mp}_p – річна потреба в КР з урахуванням $N^{mp}_p = 0,109$;

d - частка відмов, яким запобігають діагностуванням (вірогідність діагностування $d = 0,95$);

S_g - витрати на діагностування;

S_3 - витрати на ПР;

S_p - середня вартість ПД одного двигуна:

$$S_p = \sum_{i=1}^n C_i \cdot p_i, \quad (7.6)$$

тут n – кількість найменувань замінних або відновлюваних деталей;

C_i – витрати на заміну або відновлення i -ї деталі;

p_i – імовірність заміни або відновлення i -ї деталі.

Витрати на одиничне діагностування з урахуванням певної трудомісткості $T=54$ люд. -хв., тарифної ставки слюсаря та витрат на електроенергію становитимуть в середньому $X=148$ грн.

З урахуванням періодичності діагностування = 25 тис. км і середньорічного пробігу 50 тис. км, річні витрати на діагностування ДВЗ складуть 420 грн.

Разові витрати на діагностування визначено з урахуванням вартості деталей, що замінюються, S_{dem} і трудових витрат відповідно середньої трудомісткості T_3 і тарифної ставки a . ПР проводять не під час кожного діагностування, тому зі співвідношення середнього ресурсу та річного пробігу l_p автомобілів визначено, що на рік на один ДВЗ знадобиться в середньому 0,5 діагностувань. Отже, річні витрати становитимуть:

$$S_3 = \frac{l_p}{l} (a \cdot T_3 + S_{dem}) = 5910 \text{ грн.} \quad (7.7)$$

Друга складова суми являє собою збільшення капітальних витрат на діагностичне обладнання. Орієнтовно визначено вартість діагностичного пристрою 4350 грн.

При вказаних значеннях періодичності діагностування та середньорічного пробігу визначено, що на 100 ДВЗ ЯМЗ-238 необхідно двісті діагностувань на рік. З урахуванням вартості та нормативного коефіцієнта $E_B = 0,15$ річні витрати на діагностування зростуть на один двигун:

$$\Delta S = A \cdot E_B = \Delta K = 0,93 \text{ грн.} \quad (7.8)$$

Економічний ефект за (7.2) становитиме 19329 грн. Додатковий економічний ефект може бути отримано через зменшення відмов автомобілів з раптових аварійних причин.

Розрахуємо термін окупності матеріальних витрат. Розрахунок проводимо враховуючи те, що необхідно витратити 55300 грн на облаштування поста діагностування, закупівлю оснастки та виготовлення діагностичного приладу.

$$T_{ок} = \frac{K}{E} = \frac{55300,0}{19329,0} = 2,9 \text{ років} \quad (7.9)$$

Таким чином, підтримання технічного стану ДВЗ проведенням ПР за результатами ПД з обґрунтованою періодичністю надасть змогу продовжити ресурс та скоротити експлуатаційні витрати, отримавши значний економічний ефект.

Таблиця 7.1 – Результати техніко-економічної оцінки роботи

Показник	Одиниця вимірювання	Значення показника
Вид робіт		Діагностування
Програма діагностування (Двигуни)	одиниці	100
Капіталовкладення (прилад, оснастка, облаштування поста діагностування)	грн	55300
Трудомісткість одного діагностування	Люд. хв.	54
Витрати на одне діагностування	грн	148
Періодичність діагностування	Км. пробігу	25000
Витрати за рік на передремонтне діагностування	грн	480
Витрати на поточний ремонт	грн	5910
Вартість діагностичного пристрою	грн	4350
Загальні витрати при проведенні ПД та ПР	грн	10740

за рік		
Загальні витрати при проведенні ПР без ПД за рік	грн	30069
Економічний ефект від впровадження ПД на один двигун	грн	19329
Термін окупності	років	2,9

7.2. Висновок

Підтримка ДВЗ у працездатному стані проведенням ПД з обґрунтованою періодичністю дасть змогу подовжити ресурс і скоротити експлуатаційні витрати, отримати економічний ефект у розмірі 19329 грн на один двигун на рік.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Теоретично обґрунтовано спосіб діагностування циліндропоршневої групи за новим діагностичним параметром – температурою в камері згоряння без займання. Запропоновано математичну модель теплового розрахунку процесу зміни температури (14) за відсутності займання в камері згоряння, адаптовану для обчислення на ЕОМ.

2. Розроблено пристрій для визначення зносу циліндропоршневої групи, що вирізняється блоком реєстрації температури в герметичній камері згоряння термopарою, який представляє собою корпус форсунки; вдосконалено алгоритм діагностування, що підвищує точність діагностування на 5,5% порівняно з наявними способами діагностування компресометром. Встановлено, що граничний стан циліндропоршневої групи настає за температури в камері згоряння 210°C, що відповідає зносу гільзи циліндрів у поясі зупинки верхнього компресійного кільця 160 мкм.

3. Запропоновано й обґрунтовано періодичність діагностування циліндропоршневої групи ДВЗ (через ТО-2 або 24 тис. км.), застосування якої, як показали експлуатаційні випробування, збільшує ресурс двигунів на 12...13% й дає змогу обійтися без капітального ремонту за весь термін служби ДВЗ.

4. Проведений розрахунок економічного ефекту показав, що усунення несправностей за результатами діагностування з обґрунтованою періодичністю дасть змогу отримати економічний ефект у розмірі 19329 грн на один двигун на рік.

Рекомендації виробництву

Під час проведення ТО-2 алгоритм діагностування необхідно доповнити вимірюванням через одне ТО-2 температури в камері згоряння пропонуваним пристроєм.

Під час діагностування ЦПГ ДВЗ слід використовувати рекомендації щодо періодичності та обсягу робіт, а також враховувати табличні значення інших діагностичних параметрів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Мельянцов П. Т. Організація використання техніки за умов дефіциту матеріально - технічних ресурсів / П. Т. Мельянцов, Є. В. Калганков. // Zbiór raportów naukowych. „Inżynieria i technologia. Teoria. Praktyk Sp. z o.o. «Diamond trading tou. – 2010. – С. 84–87.
2. Черній О. Деякі проблеми технічної надійності сільськогосподарських тракторів JOHN DEERE. *The 7 th International scientific and practical conference “Innovations and prospects of world science” (March 2-4, 2022) Perfect Publishing, Vancouver, Canada. 2022. С. 13–19.*
3. Дирда В. І. Ремонт машин та обладнання. Підручник для вищих навчальних закладів [Текст] / В. І. Дирда, П. Т. Мельянцов, О. І. Кириленко та ін. – Днівськ, Журофонд, 2015. – 292 с.
4. Калганков, Є.В. Обґрунтування інформативних діагностичних параметрів технічного стану об’ємного гідروприводу трансмісії ГСТ-90 / Є.В. Калганков // Вісник Дніпропетровського державного аграрного університету. – 2009. – № 2. – С. 71-74
5. Калганков, Є.В. Технічне діагностування об’ємних гідроприводів трансмісії як об’єктивна необхідність / Є.В. Калганков // Сучасна наука: теорія і практика. – Запоріжжя, 2012. – Т. 2. – С. 88-90.
6. Дорошенко О. В. Обґрунтування методів та параметрів діагностування паливних систем мобільних сільськогосподарських машин / О. В. Дорошенко, Є. В. Калганков. // Zbiór artykułów naukowych z Konferencji Międzynarodowej Naukowo-Praktycznej «Nowy sposób rozwoju Inżynieria i Technologia» Sp. Z o.o. «Diamond trading tour» Warszawa. – 2017. – С. 44–50
7. Волошин Р.В. Обґрунтування ефективних методів діагностування агрегатів мобільних сільськогосподарських машин / Р.В. Волошин, Є.В. Калганков // Матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції "Інтеграція світових наукових процесів як основа суспільного прогресу": ГО «Ін-

ститут інноваційної освіти»; Науково-учбовий центр прикладної інформатики НАН України. – Київ. 2018. – С. 200-205.

8. Бондаренко, В.А. Повышение долговечности транспортных машин / В.А. Бондаренко, К.В. Щурин, Н.Н. Якунин, В.И. Рассоха, В.Ю. Филиппов. – М.: Машиностроение, 1999. – 144 с.

9. Які бувають пошкодження в циліндропоршневої групи [Електронний ресурс] / Режим доступу до ресурсу: <https://optima-prom.com/ua/a379573-kakie-byvayut-povrezhdeniya.html>.

10. A. Golovan, S. Rudenko, I. Gritsuk, A. Shakhov, et al., “Improving the Process of Vehicle Units Diagnosis by Applying Harmonic Analysis to the Processing of Discrete Signals,” SAE Technical Paper 2018-01-1774, 2018, doi:10.4271/2018-01-1774.

11. Діагностика автомобіля [Електронний ресурс]. – 21. – Режим доступу до ресурсу: <http://komitet.kiev.ua/diagnostyka-avtomobilya-3/>.

12. Николаев, Е.В. Факторы, влияющие на параметр расхода картерных газов как основной показатель технического состояния ЦПГ / А.В. Николаев, Н.С. Нистратова. // Тракторы и сельхозмашины. - 2011. - №10. - С 45-46.

13. Двигуни внутрішнього згоряння. Теорія [Текст]: Підручник / В.Г. Дяченко; За ред. А.П.Марченка. - Харків: НТУ “ХПІ”, 2008. – 488 с

14. Армашов Ю.В. Надійність сільськогосподарської техніки: навчальний посібник / Ю.В. Армашов, П.К. Охмат. – Дніпропетровськ.: РВВ ДДАУ, 2008. – 208 с.

15. Картошкін, О.П. Методологічні аспекти наукових досліджень зі створення способу дистанційного теплового контролю потужних показників мобільного сільськогосподарського агрегату. - 2015. - №39. С. 309-314.

16. Інтелектуальні системи діагностики теплового стану електродвигуна : монографія / Д. Ю. Зубенко ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2022. – 203 с.

17. Кіндрачук М.В. Трибологія: підручник / М.В.Кіндрачук, В.Ф. Лабунець, М.І. Пашечко, Є.В. Корбут. – К., НАУ, 2009

18. Калганков Е.В. Расчет долговечности резиновых футеровок шаровых рудоразмольных мельниц с учетом старения резины / Калганков Е.В. // Геотехнічна механіка: Міжвід. зб . наук . Праць , Ін- т геотехнічної механіки ім. М .С. Полякова НАН України. – Дніпропетровськ, 2013. – No 113. С. 181–202.
19. Калганков Є. В. Особливості фрактального аналізу поверхні руйнування гумових футерівок, що працюють в умовах абразивно-втомного зносу / Є. В. Калганков. // Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. наук. праць. - Дніпропетровск: ІГТМ НАНУ. – 2017. – No133. – С. 66–74
20. Нижняк Д.В. Визначення показників надійності колінчатих валів автотракторних двигунів / Нижняк Д.В., Калганков Є.В., Дирда В.І. // Inżynieria i technologia. 2014. osiągnięć, projekty hipotezę. (29.12.2014 - 30.12.2014) – Warszawa: – 2014. – С. 8-13.
21. Надійність сільськогосподарської техніки: підручник / М. І. Черновол, В. Ю. Черкун. – 2-ге вид., переробл. і допов. – Кіровоград : КОД, 2010. – 320 с.
22. Кобец А.С. Энергетическая оценка износа антифрикционных материалов / Кобец А.С., Дырда В.И., Калганков Е.В., Цаниди И.Н. // Геотехническая механика. 2012. Вып. 106. С. 78–90.
23. Наноматеріали в механіці де формівного твердого тіла на прикладі гумових футеровок барабаних кульових млинів / В. Дирда та ін. *Геотехнічна механіка*. 2021. № 157. С. 120–129.
24. Черній О. Дослідження безвідказності тракторів John Deere серії 8R в експлуатаційних умовах України. *Теоретичні та практичні питання аграрної науки : матеріали Міжнародної науково-практичної конференції*. 2022. С. 117–120.
25. Пат. № 144310 Україна, G01N 3/56 (2006.01) Машина тертя / Калганков Євген Васильович (UA); Грачова Вікторія Миколаївна (UA); Косенко Анна Вадимівна (UA) - u202001408; заявл. 20.03.2020; опубл. 25.09.2020, бюл. № 18; 4 с.

26. ДСТУ ISO 45001:2019 (ISO 45001:2018, IDT). Системи управління охороною здоров'я та безпекою праці. Вимоги та настанови щодо застосування. На заміну ДСТУ OHSAS 18001:2010 ; чинний від 2021-01-01. Вид. офіц. Київ, 2021. 5 с.

27. Основи охорони праці: / К. Н. Ткачук, М. О. Халімовський, В. В. Зацарний. - К.: Основа, 2006 — 448 с

28. ДСТУ EN ISO 7010:2019. Графічні символи. Кольори та знаки безпеки. На заміну ДСТУ ISO 7010:2009; ДСТУ ISO 6309:2007 ; чинний від 2020-07-01. Вид. офіц. Київ, 2020. 136 с.

29. Вініченко І.І. Методичні рекомендації з економічного обґрунтування дипломних робіт для студентів факультету механізації сільського господарства / І.І Вініченко, А.О. Сітковська. Дніпропетровськ: ДДАЕУ, 2016. – 27 с.

30. Калганков Є.В. Методичні рекомендації до виконання і оформлення дипломних проектів ОС "Бакалавр" за спеціальністю 208 "Агроінженерія" і дипломних робіт ОС "Магістр" за спеціальністю 208 "Агроінженерія" / Калганков Є.В. – Д.: ДДАЕУ, 2021. – 36 с.39.

31. ДСТУ 3008:2015 Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлювання

ДОДАТКИ

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Інженерно-технологічний факультет
Кафедра інжинірингу технічних систем

**УДОСКОНАЛЕННЯ ДІАГНОСТУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ
ЦИЛІНДРО-ПОРШНЕВОЇ ГРУПИ ЗА ТЕМПЕРАТУРНИМ
ПАРАМЕТРОМ**

демонстраційний матеріал до дипломної роботи освітнього ступеня «Магістр»

Виконав: студент 2 курсу, групи МгАІ-2-22
Василюк Вадим Вадимович

Керівник: доцент, к.т.н.
Толстенко Олександр Васильович

Дніпро-2023

МЕТА РОБОТИ

Забезпечення працездатності дизельного двигуна за результатами діагностування

ЗАДАЧІ РОБОТИ

1. Теоретично обґрунтувати спосіб діагностування ЦПГ за температурою в камері згоряння ДВЗ.
2. Розробити пристрій для діагностування ЦПГ за температурою в камері згоряння.
3. Провести експериментальні дослідження діагностичного пристрою з обґрунтуванням періодичності його використання.
4. Розробити засоби з охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях.
5. Визначити економічний ефект пропонованих розробок.



Тріщина в
перемичці поршня



Прогар поршня



Залягання кілець



Задир поршня
і циліндра



Підвищення нагару в
камері згорання та
підвищений знос
маслозємних ковпачків



Деформація клапана

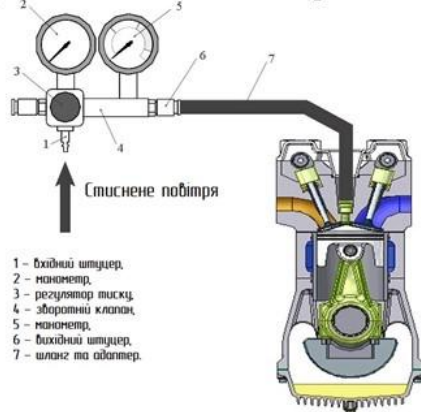


Прогар клапана



Дефект профілю
кулачка
розподільчатого валу

Діагностика пневмотестером



Недоліками методу є:

По-перше, якщо двигун оснащений автоматичною коробкою передач, або подібними варіантами, потрібен підйомник. Труднощі можуть виникнути і під час виставлення поршня у ВМТ.

По-друге, при послідовній перевірці останніх за порядком циліндрів можуть бути погані результати через витік масла з поверхні циліндра в картер.

По-третє, достовірно можна оцінити тільки витіки в клапанах. Про стан кілець або знос гільзи цей метод достовірно не вкаже.

По-четверте: цей метод трудомісткий, оскільки діагностика кожного циліндра займає багато часу.

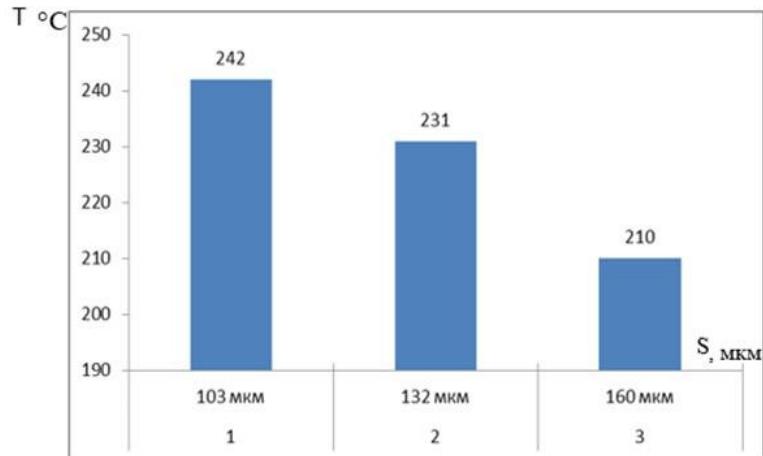
Вакуумметр



Недолік методу - неможливість точного, з достатнім ступенем ймовірності, визначення залишкового ресурсу деталей.

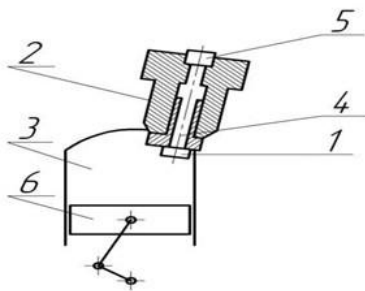
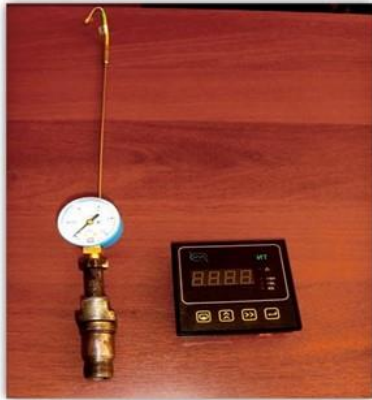
$$T_{x.c.} = \left(\frac{dP}{P} + \frac{dV}{V} - \frac{dM}{M} \right) \cdot \left(\frac{V_a}{\frac{\pi d^2}{4} \cdot \left(1 - \cos \varphi + \frac{\lambda}{4} (1 - \cos 2\varphi) \right) + V_{kc}} \right)^{0.36}$$

Зміна температури в камері згоряння ДВЗ від зносу гільзи циліндрів у поясі зупинки верхнього компресійного кільця (у площині гойдання шатуна)



- 1 - ДВЗ із номінальним значенням діагностичного параметра;
 2 - ДВЗ із допустимим значенням діагностичного параметра;
 3 - із граничним значенням діагностичного параметра.





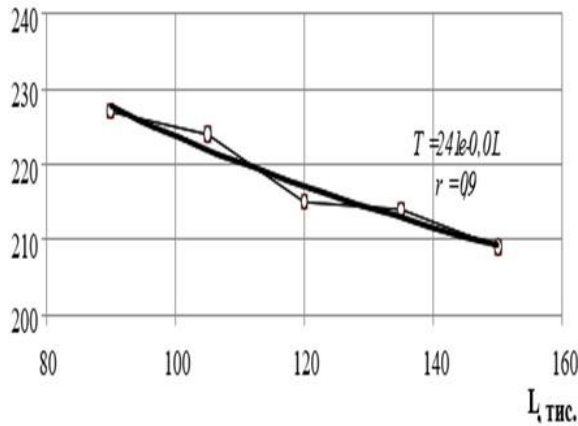
Пристрій для діагностування ДВЗ з блоком реєстрації

1 – термопара; 2 – корпус; 3 – камера згоряння; 4 – канал; 5 – блок реєстрації; 6 – поршень

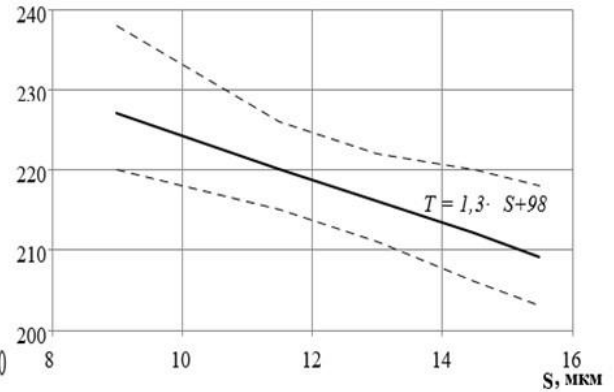
8 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Зв'язок діагностичного параметра – температури в камері згоряння T , витоків у сполученні "поршень-кільце-гільза" (%) зі структурним - зносом S гільзи циліндрів у поясі зупинки верхнього компресійного кільця, мкм

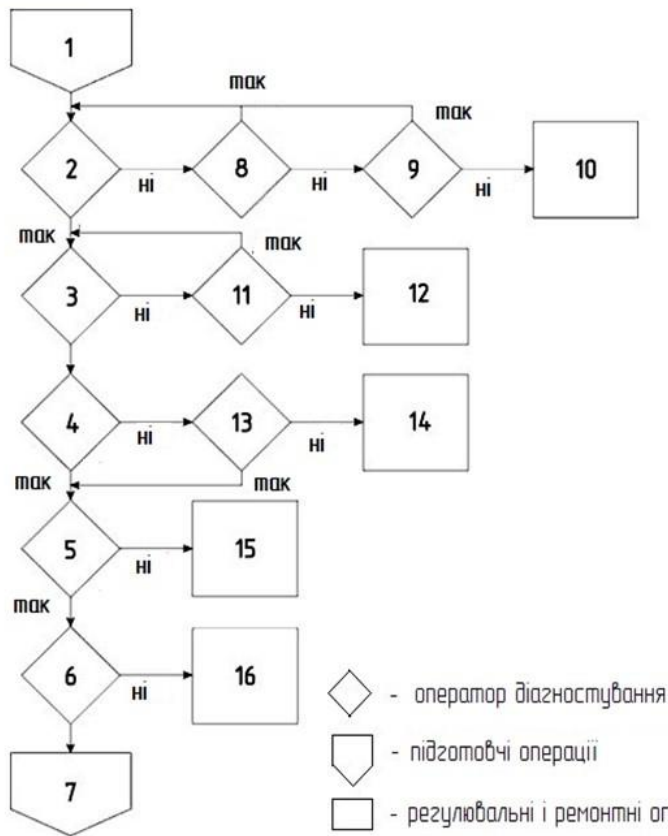
T , °C	238-242	234-237	228-231	221-224	205-210
L , тис.км.	105	117	141	148	163
S , мкм	98-103	113-115	129-132	143-146	159-162



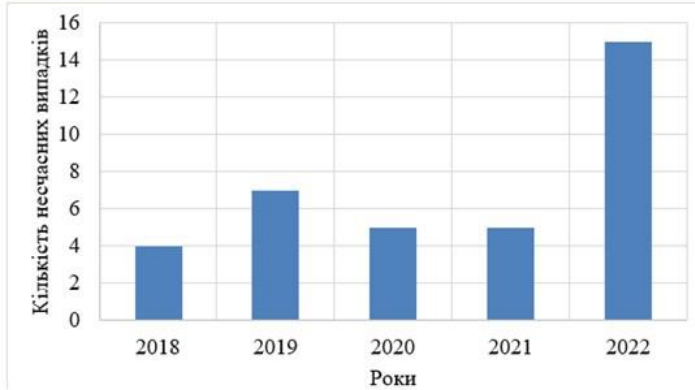
Залежність температури в камері згоряння без займання від пробігу ДВЗ



Залежність діагностичного параметра T від структурного S



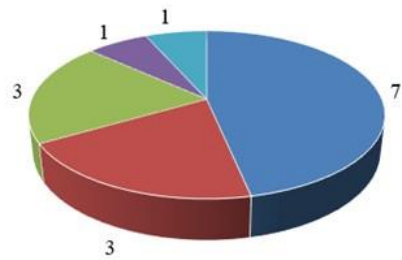
1 - зовнішній огляд, прослуховування ДВЗ; 2 - температура в камері згоряння; 3 - димність вихлопних газів; 4 - тиск у системі змащення; 5 - прогин шатунних вкладишів; 6 - сумарне переміщення поршня у ВМТ; 7 - експлуатація; 8 - герметичність ЦПГ; 9 - зазори в клапанному механізмі; 10 - ТР ЦПГ і газорозподільного механізму; 11 - кут випередження і тиск уприскування; 12 - ПД паливної апаратури; 13 - продуктивність масляного насоса; 14 - ПД системи змащення; 15 - ПД шатунних підшипників; 16 - ПД підшипників колінчастого вала зі зняттям двигуна.



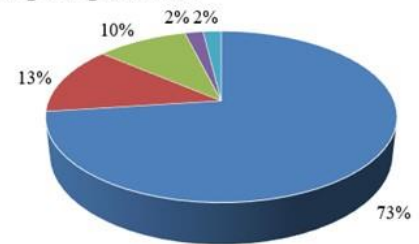
Динаміка нещасних випадків та захворюваності



Наслідки ракетного удару по території АТП



Нещасні випадки за професіями



Залежність нещасних випадків у АТП від травмуючих факторів

Показник	Одиниця вимірювання	Значення показника
Вид робіт		Діагностування
Програма діагностування (Двигуни)	одиниці	100
Капіталовкладення (прилад, оснастка, облаштування поста діагностування)	грн	55300
Трудомісткість одного діагностування	Люд. хв.	54
Витрати на одне діагностування	грн	148
Періодичність діагностування	Км. пробігу	25000
Витрати за рік на передремонтне діагностування	грн	480
Витрати на поточний ремонт	грн	5910
Вартість діагностичного пристрою	грн	4350
Загальні витрати при проведенні ПД та ПР за рік	грн	10740
Загальні витрати при проведенні ПР без ПД за рік	грн	30069
Економічний ефект від впровадження ПД на один двигун	грн	19329
Термін окупності	років	2,9

1. Теоретично обґрунтовано спосіб діагностування циліндропоршневої групи за новим діагностичним параметром – температурою в камері згоряння без займання. Запропоновано математичну модель теплового розрахунку процесу зміни температури (14) за відсутності займання в камері згоряння, адаптовану для обчислення на ЕОМ.

2. Розроблено пристрій для визначення зносу циліндропоршневої групи, що вирізняється блоком реєстрації температури в герметичній камері згоряння термопарою, який представляє собою корпус форсунки; вдосконалено алгоритм діагностування, що підвищує точність діагностування на 5,5% порівняно з наявними способами діагностування компресометром. Встановлено, що граничний стан циліндропоршневої групи настає за температури в камері згоряння 210°C, що відповідає зносу гільзи циліндрів у поясі зупинки верхнього компресійного кільця 160 мкм.

3. Запропоновано й обґрунтовано періодичність діагностування циліндропоршневої групи ДВЗ (через ТО-2 або 24 тис. км.), застосування якої, як показали експлуатаційні випробування, збільшує ресурс двигунів на 12...13% й дає змогу обійтися без капітального ремонту за весь термін служби ДВЗ.

4. Проведений розрахунок економічного ефекту показав, що усунення несправностей за результатами діагностування з обґрунтованою періодичністю дасть змогу отримати економічний ефект у розмірі 19329 грн на один двигун на рік.

Рекомендації виробництву

Під час проведення ТО-2 алгоритм діагностування необхідно доповнити вимірюванням через одне ТО-2 температури в камері згоряння пропонованим пристроєм.

Під час діагностування ЦПГ ДВЗ слід використовувати рекомендації щодо періодичності та обсягу робіт, а також враховувати табличні значення інших діагностичних параметрів.

УДК 631.51.4

**АНАЛІЗ СПОСОБІВ ДІАГНОСТУВАННЯ ЦІЛІНДРО-
ПОРШНЕВОЇ ГРУПИ ДВИГУНА ТА ОБГРУНТУВАННЯ НАЙБІЛЬШ
ЕФЕКТИВНОГО**

Васильок В.В.

*здобувач вищої освіти СВО Магістр,
ОПП Агроінженерія, ІТФ ДДАЕУ*

*Науковий керівник – Толстенко О.В.,
кандидат технічних наук, доцент*

У сільському господарстві намітилося старіння рухомого складу автотранспортної техніки та сільськогосподарських машин, що пояснюється загальним станом економіки країни. Витрати фермерських господарств і сільгоспвиробників на підтримання працездатності парку сільськогосподарської техніки та встановлених на неї двигунів у деяких випадках перевищують вартість закупівлі нових агрегатів, досягаючи при цьому 12...15 % собівартості сільськогосподарської продукції. Із цих витрат до 23 % припадають на івні технічні обслуговування (ТО) і ремонти.

При цьому ремонтні підприємства стикаються з фактами потрапляння агрегатів і двигунів до капітального ремонту (КР) з невикористаним на 28...35 % ресурсом, що зумовлено ігноруванням своєчасного виявлення несправностей діагностуванням технічного стану та недоліками планово-попереджувальної системи ТО і ремонту [1, 2].

У ремонтних майстернях сільськогосподарських та автотранспортних підприємств ступінь зношеності двигуна і потребу в його ремонті встановлюють діагностуванням за параметрами витрати палива, моторного мастила, тиском у системі змащення, потужністю. Але точність діагнозу за зазначеними показниками є недостатньою і не дає змоги оцінити стан і

значення зношеності циліндропоршневої групи двигуна, а також об'єктивну оцінку проведеного ремонту з прогнозуванням залишкового ресурсу ЦПГ [3, 4].

Вимірювання компресії в двигуні (оцінка пневмоцільності конкретного циліндра за максимальним тиском наприкінці такту стиснення), найпростіший з наявних методів діагностики стану циліндропоршневої групи.

Переваги компресійного методу - простота, доступність, універсальність.

Однак інформативності методу недостатньо не тільки для прогнозування залишкового ресурсу, а й для постановки остаточного діагнозу про стан ЦПГ і ГРМ. Але, крім інформативності, існує ще й методична похибка.

Також існують і інші способи аналіз яких наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 - Способи діагностування циліндропоршневої групи ДВЗ, їхні переваги та недоліки

№ з/п	Спосіб діагностування	Переваги	Недоліки
1.	Вимірювання тиску компресометром	- швидкість; - оцінка загального технічного стану; - переносний.	- велика похибка (10%); - при недостатньо зарядженій АКБ компресія на 1...1,5 атм. нижча за реальну
2.	Вимірювання витрати картерних газів пневмотестером	- оцінка загальної працездатності ЦПГ; - виявляє факт несправності циліндра.	- витік газів через сальникові ущільнення; - вплив вібрації на показання пневмотестера; - необхідність у джерелі стисненого повітря.

3.	Органолептичний	- попередня оцінка технічного стану за стуками, температурою охолоджувальної рідини.	- мала інформативність; - низька точність діагнозу; - суб'єктивізм.
4.	Віброакустичний	- попередня оцінка технічного стану за шумом у ЦПГ ДВЗ.	- мала інформативність; - низька точність діагнозу; - суб'єктивізм.
5.	Трибодіагностика (аналіз продуктів зносу в моторному мастилі спектрометрами)	- точна кількісна оцінка продуктів зносу в хімічних елементів у моторному мастилі, що характеризують знос конкретних деталей ДВЗ.	- висока вартість; - недостатня інформативність; - висока трудомісткість; - стаціонарний.
6.	Діагностика за температурою в камері згоряння (пропонований)	- інформативність; - точність способу; - дешевизна і невисока трудомісткість; - переносний.	- висока кваліфікація персоналу.

Наявні методи та засоби діагностування циліндропоршневої групи двигунів вирізняються різноманіттям діагностичних параметрів, які використовують, недостатньою універсальністю, точністю та порівняно великою трудомісткістю, що обмежує їхнє застосування в різних виробничих умовах.

Висновок. Перспективним напрямком, поряд з наявними, є вимірювання температури в камері згоряння циліндропоршневої групи, як діагностичного параметра, пов'язаного зі зносом сполучення "поршень-кільце-гільза", що визначає ресурс ДВЗ.

Список використаних джерел

1. Мельянцов П. Т. Організація використання техніки за умов дефіциту матеріально - технічних ресурсів / П. Т. Мельянцов, Є. В. Калганков. // Zbiór raportów naukowych. „Inżynieria i technologia. Teoria. Praktyk Sp. z o.o. «Diamond trading tou. – 2010. – С. 84–87.
2. Черній О. Деякі проблеми технічної надійності сільськогосподарських тракторів JOHN DEERE. *The 7 th International scientific and practical conference "Innovations and prospects of world science" (March 2-4, 2022) Perfect Publishing, Vancouver, Canada. 2022. С. 13–19.*
3. Дирда В. І. Ремонт машин та обладнання. Підручник для вищих навчальних закладів [Текст] / В. І. Дирда, П. Т. Мельянцов, О. І. Кириленко та ін. – Дніпськ, Журофонд, 2015. – 292 с.
4. Калганков, Є.В. Технічне діагностування об'ємних гідроприводів трансмісії як об'єктивна необхідність / Є.В. Калганков // Сучасна наука: теорія і практика. – Запоріжжя, 2012. – Т. 2. – С. 88-90.