

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

**МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

01.11 - МР.189 "С" 2021.02.01.117 ПЗ

**НАХАМЕЦЬ РОМАН ВАЛЕРІЙОВИЧ**

2021 р.

НУБІП України

НУБІП України

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Механіко – технологічний факультет

УДК 631.3:681.784.8

ПОГОДЖЕНО

Декан механіко-технологічного факультету

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри

технічного сервісу та інженерного

(назва кафедри)

менеджменту імені М.П. Момстенка

Братішко В.В.

(підпис)

(ПІБ)

Роговський І.Л.

(підпис)

(ПІБ)

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2021 р.

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2021 р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему Розробка технології діагностування дизельних двигунів

вібракустичним методом

Спеціальність 208 «Агроінженерія»

(код і назва)

Освітня програма «Агроінженерія»

(назва)

Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна

(освітньо-професійна, або освітньо-наукова)

Гарант освітньої програми

доктор технічних наук, ст.наук.с.

(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Братішко Вячеслав Вячеславович

(ПІБ)

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

К.Т.Н., доц. каф.

(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Дев'ятко Олена Сергіївна

(ПІБ)

Виконав

(підпис)

Нахамець Роман Валерійович

(ПІБ)

КИЇВ – 2021

# НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Механіко – технологічний факультет

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри технічного сервісу та інженерного менеджменту ім. М.П.Момотенка

д.т.н., проф.  
(науковий ступінь, висноє знання)

Роговський П.І.  
(ПІБ) (ПІП)

2021 р.

## ЗАВДАННЯ

ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ

Нахамець Роману Валерійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність 208 «Агроінженерія»

(код і назва)

Освітня програма «Агроінженерія»

(назва)

Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна

(освітньо-професійна, або освітньо-наукова)

Тема магістерської кваліфікаційної роботи Розробка технології діагностування дизельних двигунів віб्रोакустичним методом

затверджена наказом ректора НУБіП України від «01» лютого 2021 р. № 189 «С»

Термін подання завершеної роботи на кафедру \_\_\_\_\_

(рік, місяць, число)

Вихідні дані до магістерської кваліфікаційної роботи Первинна документація з техніко-експлуатаційними характеристиками дизельних двигунів. Науково-технічна, нормативно – методична література

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Основні положення.
2. Теоретичні основи віб्रोакустичного діагностування циліндро-поршневої групи
3. Експерименти і результати досліджень
4. Загальні положення техніки безпеки і охорони праці під час проведення діагностування

Перелік графічного матеріалу Електронна презентація на 22 слайдах

Дата видачі завдання «11» листопада 2020 р.

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

Завдання прийняв до виконання

Дев'ятко О.С.

(прізвище та ініціали)

Нахамець Р.В.

(прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

Магістерська кваліфікаційна робота містить розрахунково-пояснювальну записку на 80 сторінках машинописного тексту, 22 рис., 4 таблиці та 50 джерел.

**Ключові слова:** двигун внутрішнього згорання, циліндро-поршнева група, діагностичний параметр, дослідження, компресія, методика, діагностика, засоби діагностування, технічний стан, параметри.

**Об'єкт досліджень** – циліндро-поршнева група дизельних двигунів внутрішнього згорання.

**Предмет досліджень** – характеристики вібрації,  $m/s^2$  (м/с, дБ), частотні характеристики  $m/s^2$  (Гц), димність відпрацьованих газів, витрата оливи л/год, компресія, атм ( $kg/cm^2$ ), прорив картерних газів л/год.

**Мета роботи** – забезпечення надійності роботи мобільної сільськогосподарської техніки в період експлуатації за рахунок оперативного визначення її стану за допомогою прогресивних методів і засобів діагностування.

**Методи досліджень** – теоретичні дослідження базуються на діагностуванні компресії в циліндрах дизельних ДВЗ за допомогою компресометра. В роботі проведено аналіз стану проблеми діагностики двигунів

внутрішнього згорання мобільної сільськогосподарської техніки, визначені і обґрунтовані допустимі параметри роботи ДВЗ, розроблена методика діагностування циліндро-поршневої групи дизельних ДВЗ, розроблені алгоритми діагностування дизельних ДВЗ.

Проведені дослідження дадуть змогу забезпечувати оперативне знаходження широкого переліку технологічних і експлуатаційних дефектів ЦПГ дизельних двигунів.

## ЗМІСТ

РЕФЕРАТ.....	3
ВСТУП.....	6
<b>РОЗДІЛ 1 ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ.....</b>	<b>8</b>
1.1. Перспективні напрями розвитку методів і засобів технічної діагностики машин в сільському господарстві.....	8
<b>РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ВІБРОАКУСТИЧНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ ЦИЛІНДРО-ПОРШНЕВОЇ ГРУПИ. 19</b>	<b>19</b>
2.1. Математична модель виникнення віброударного імпульсу в циліндро-поршневій групі.....	19
2.2. Динаміка двигуна та формування вібрації в зоні циліндрів.....	20
2.3. Класифікація систем діагностування.....	21
2.4. Режим роботи двигуна під час діагностування.....	27
2.5. Вібродіагностування.....	28
2.6. Загальні відомості про пошук дефектів.....	29
2.7. Пристосованість двигунів внутрішнього згорання мобільної сільськогосподарської техніки до діагностування.....	36
2.8. Режими двигуна внутрішнього згорання при діагностиці.....	38
2.9. Засоби технічної діагностики мобільної сільськогосподарської техніки.....	40
2.10. Напрями розробки систем діагностики.....	47
2.11. Основні складові приладу “ДЕЛЬФІН -1М” та його призначення... 53	53
<b>РОЗДІЛ 3 ЕКСПЕРИМЕНТИ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.....</b>	<b>60</b>
3.1. Експериментальні дослідження на прикладі двигуна Д-243.....	60
3.2. Дослідження параметрів двигуна Д-243.....	61

# НУБІП України

**РОЗДІЛ 4 ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ І  
ОХОРОНИ ПРАЦІ ПІД ЧАС ПРОВЕДЕННЯ  
ДІАГНОСТУВАННЯ..... 66**

4.1. Основні правила техніки безпеки при діагностуванні..... 66

# НУБІП України

**ВИСНОВКИ..... 74**

# НУБІП України

**СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ..... 78**

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

## ВСТУП

Несправності двигуна найчастіше виникають внаслідок спрацьовування деталей окремих механізмів, порушення оптимальних теплових навантажувальних режимів роботи, поганого очищення повітря та моторної оливи, а також при використанні nereкомендованих заводом-виробником палива чи оливи.

Так, при запуску холодного двигуна через високу в'язкість оливи погіршуються умови змащування деталей циліндро-поршневої групи, що призводить до підвищення їх спрацьовування і утворення задирів.

Часто причиною несправності двигуна є його перевантаження або перегрівання. В системі охолодження двигуна в зонах найбільшого нагрівання утворюються парові пробки, які сприяють коробленню деталей, виникненню тріщин та прогоряння прокладки головки циліндрів. Надто висока температура стінок камери згоряння і оливи є причиною утворення нагару, який призводить до заклипання поршневих кілець. Перегрівання двигуна виникає в результаті його перевантаження, наявності в системі охолодження великої кількості накипу, забруднення трубок радіатора, обривання чи пробуксовування пасів вентилятора, несправності водяного насоса.

На паливну апаратуру припадає близько 75% несправностей, що виникають у дизельних двигунах. Найчастіше зустрічаються погана робота форсунок, нерівномірна подача палива насосними елементами, заідання і передчасне спрацьовування прецизійних деталей, незадовільна робота регулятора частоти обертання та ін.

Всі несправності двигуна, що виникають під час експлуатації трактора, мають зовнішні прояви: підвищені витрати картерної оливи, стук у двигуні, великий прорив газів у картер та ін. Часто зовнішні прояви різних несправностей подібні. Досвідчений майстер-наладчик визначає несправність без зайвих розбирань і перевірок, застосовуючи метод послідовного виключення.

Для оцінки технічного стану двигуна, його механізмів і систем використовують сучасні засоби діагностування: механічні, гідравлічні, пневматичні та електричні.

Технічна діагностика — це комплекс методів по визначенню технічного стану машин. Вона є складовою частиною системи технічного їх обслуговування.

Впровадження технічної діагностики в практику технічного обслуговування машинно-тракторного парку — одне з найбільш ефективних заходів, що забезпечують підвищення надійності і економічності використання

машин. Діагностування дозволяє:

➤ скоротити кількість капітальних ремонтів та повніше використовувати ресурс машин;

➤ зменшити простої машинно-тракторних агрегатів з-за технічних несправностей;

➤ знизити трудомісткість ремонту і технічного обслуговування машин за рахунок скорочення розбірно-складальних робіт;

➤ підвищити тягово-економічні показники машинно-тракторних агрегатів за рахунок своєчасних і якісних регулювань і інших профілактичних

операцій. Впровадження технічної діагностики дає можливість збільшити міжремонтні напрацювання тракторів не менш ніж на 500 мото-год і знизити витрати на експлуатацію та ремонт тракторів.

Залежно від кількості машин, що обслуговуються, наявності засобів діагностування та інших факторів застосовують різні форми організації діагностування тракторів:

➤ пересувними засобами у зоні господарств;

➤ переносними або стаціонарними засобами на пунктах технічного обслуговування господарств і в польових умовах;

➤ стаціонарними засобами безпосередньо в господарствах або на станціях технічного обслуговування тракторів (СТОТ).



## РОЗДІЛ 1 ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ

### 1.1. Перспективні напрями розвитку методів і засобів технічної діагностики машин в сільському господарстві

Вирішальною умовою упровадження ефективного технічного обслуговування і ремонту машин, управління їх технічним станом є застосування методів і засобів діагностики машин. Саме це дозволяє перейти від планово-запобіжного обслуговування і ремонту по періодичності (незалежно від стану) до планового контролю і обслуговування, ремонту по потребі залежно від стану машин.

Така стратегія різко зменшує число ремонтів, скорочує витрату запасних частин, збільшує фактичне міжремонтне напрацювання.

Останніми роками проведена значна робота по створенню діагностичних приладів і устаткування на основі механічних (переважно) і електронних засобів вимірювань. Результати широкого упровадження діагностичних засобів показали їх велику економічну ефективність: різке зниження простоїв машин через несправності, збільшення міжремонтного напрацювання, підвищення продуктивності машин. Разом з тим виявлені і недоліки існуючих діагностичних засобів. Найсерйозніший з них - значна трудомісткість

діагностики машин. Забезпечення діагностування парку машин в сільському господарстві - повинна бути вирішена як за рахунок збільшення випуску діагностичних приладів і устаткування, так і за рахунок істотного підвищення їх продуктивності, скорочення трудомісткості діагностики. Це може бути здійснено шляхом створення і упровадження діагностичних приладів і устаткування з електронними засобами вимірювань, а також створення приладів, що дозволяють автоматизувати процес діагностики (знімання сигналу при заданому режимі роботи, його порівняння і обробка, обчислення залишкового ресурсу, встановлення діагнозу, його реєстрація і ін.).

Для проведення направлених досліджень в цій області має сенс розглянути елементи витрат часу на діагностику машин. Практика показує, що тільки на приєднання і від'єднання приладів діагностики тракторів

затрачується близько 70% часу. На встановлення режиму роботи і безпосереднє вимірювання діагностичних параметрів трактора доводиться 20% і, нарешті, на аналіз і фіксацію вимірювань - 10% загального часу діагностування. Приблизно таке ж положення спостерігається і по інших машинах, які експлуатуються в сільському господарстві. Таким чином, основний резерв підвищення продуктивності діагностичних засобів пов'язаний із зменшенням часу на установку і зняття перехідних пристроїв. В таблиці приведені основні заходи щодо скорочення трудомісткості діагностики машин.

Подальші дослідження, на наш погляд, повинні бути направлені в першу чергу на реалізацію цих заходів. Розглянемо більш детально заходи по скороченню часу на установку і зняття перехідних пристроїв.

Пункти 1, 3 і 7 відносяться до методів і технологій діагностики машин, інші - до поліпшення пристосованості машин до діагностування.

Таблиця 1.1.

Дії по зменшенню трудомісткості діагностування

## Діагностичні операції

Встановлення і зняття перехідних пристроїв	Встановлення режиму роботи і вимірювання параметрів стану	Реєстрація результатів вимірювань, їх порівняння, прогнозування залишкового ресурсу агрегатів
1. Застосування універсальних діагностичних методів, які ґрунтуються на неустановлених режимах	1. Застосування пристрою для автоматизованих вимірів параметрів при заданому режимі роботи	1. Застосування пристроїв, автоматизованих операцій обробки, порівняння результатів вимірювань з допустимими величинами
2. Забезпечення уніфікованих передувальних поверхонь агрегатів, які діагностуються	2. Одночасне вимірювання декількох параметрів стану машини	2. Застосування пристроїв, які обраховують залишковий ресурс об'єктів які діагностуються
3. Застосування накладних первинних вимірювальних перетворювачів (датчиків)	3. Вимірювання параметрів на неустановлених режимах роботи	3. Застосування логічних пристроїв і приладів, які друкують результати діагностики
4. Застосування вмонтованих вимірювальних перетворювачів	4. Заміна безумовних алгоритмів діагностування умовними	4. Фіксація допустимих відхилень параметрів у

5. Застосування вмонтованих приладів безперервного контролю, сигналізаторів, показників і відміток граничних значень параметрів

6. Застосування бортової системи діагностування

7. Заміна безумовних алгоритмів діагностування умовними

5. Застосування великих шкал з рівномірною підсвіткою у вимірювальних показуючих приладах

вимірювальних показуючих приладах

Найперспективніші напрями досліджень пов'язані з подальшим розвитком універсальних діагностичних методів: віброакустичного, спектрального аналізу оливи і теплового. Ці методи вимагають приєднання тільки одного-двох вимірювальних перетворювачів (або взяття проби оливи) при контролі декількох десятків структурних параметрів стану машин.

Останнім часом спостерігається інтенсивне застосування на практиці результатів досліджень віброакустичного методу. Суттєвий недолік цього методу - велика погрішність вимірювань - компенсується малою тривалістю контролю. Як показують результати останніх досліджень, ця погрішність може

бути значно зменшена шляхом більш ретельної селекції сигналу. Метод спектрального аналізу оливи, поступаючи віброакустичному по інформативності при послементній діагностиці, в той же час більш інформативний, простий і доступний при загальному діагностування машин, коли визначається загальний стан агрегатів, а також працюючої оливи, і коли фіксується по концентрації продуктів зносу в оливі ненормальна робота того або іншого механізму.

Найстаріший і, мабуть, найменше вивчений тепловий метод діагностики, заснований на вимірюваннях температури і теплового випромінювання об'єктів в інфрачервоній області спектру, в останній час набуває поширення у нас і за кордоном. Випуск вітчизняних приладів свідчить про можливість отримання позитивних результатів при діагностиці агрегатів машин, в першу

чергу при обкатці і оцінці якості їх ремонту, а також в експлуатаційних умовах.

Практично аналогічні результати по числу первинних вимірювальних перетворювачів (датчиків) і малому часу контролю значного числа

структурних параметрів можна отримати, діагностуючи машини на несталих

режимах роботи. Виміряючи один діагностичний параметр, наприклад при

різній частоті обертання колінчастого валу двигуна або валу силової передачі

машини, можна отримати інформацію про стан багатьох механізмів і вузлів.

Результати роботи свідчать про значну перспективність цього методу

діагностування. На жаль, його розвиток поки знаходиться на початковій стадії.

Треба чекати, що із застосуванням електронних засобів вимірювань

короткочасних динамічних сигналів цей метод перехідних характеристик

отримає широке розповсюдження. Уніфікацію приєднувальних поверхонь

агрегатів (табл. 1.1., ліва колонка), що діагностуються, слід розглядати як

перший етап робіт по пристосованості машин до діагностики. Зараз тільки для

діагностики тракторів у зв'язку з різними розмірами приєднувальних

поверхонь необхідно застосовувати комплект з 70 перехідних пристроїв масою

близько 50 кг, що різко збільшує тривалість процесу діагностики.

Застосування при діагностиці первинних вимірювальних

перетворювачів, що накладаються, замість вбудованих знижує декілька разів

час, необхідний на приєднання діагностичних приладів. Застосування

вбудованих вимірювальних перетворювачів радикальним чином зменшує час

на під'єднання і від'єднання приладів. [1]

В цьому випадку вимірювальні перетворювачі встановлюють при

виготовленні машини на заводі. Їх стиковка з діагностичними приладами або

системою здійснюється в основному за допомогою багатополосного

штепсельного з'єднання, одна частина якого з'єднана зі всіма вбудованими

перетворювачами, а інша - з діагностичними засобами. У зв'язку із значною

вартістю вимірювальних перетворювачів (станом на сьогодні) в порівнянні з

вартістю сільськогосподарської машини треба чекати, що в найближчому

майбутньому основні структурні параметри вузлів і агрегатів не вимірятимуть

за допомогою згаданих вбудованих перетворювачів. Ці перетворювачі виявляються ефективними в перспективі, очевидно, тільки для експрес-діагностики по параметрам, які характеризують безпеку і продуктивність роботи машин. Із збільшенням продуктивності машин і потужності тракторів число вбудованих первинних вимірювальних перетворювачів буде поступово збільшуватися. Логічним продовженням роботи по пристосованості машин до діагностики є збільшення кількості вбудованих приладів безперервного контролю, сигнализаторів і показчиків. У ряді випадків прості сигнализатори і показчики виявляються набагато дешевше вбудованих перетворювачів. Це, наприклад, відноситься до сигнализаторів небезпечної роботи, засміченості і забрудненості фільтрів, рідини, показникам рівня палива, оливи, води і т.п. [2]

Застосування бортової системи діагностики можливо для особливо відповідальних і продуктивних машин.

Вибір того або іншого варіанту поліпшення пристосованості машин до діагностики залежить від значущості контрольованих структурних параметрів і важливості механізму, стан якого ці параметри характеризують. Задача полягає в розробці, уточненні економічного критерію, зборі початкових даних, визначенні і впровадженні оптимального варіанту по всій номенклатурі структурних параметрів машини. Задача поліпшення контролепридатності машини повинна розв'язуватися на фоні вибору перспективних методів діагностування. [2]

Вище розглядалися конструктивні заходи, що стосуються діагностичних засобів і машин, що діагностуються. Значний резерв зменшення трудомісткості діагностики полягає також у виборі оптимальної послідовності самого процесу. В першу чергу це відноситься до заміни безумовного алгоритму діагностування, коли чергове вимірювання параметра проводиться незалежно від результатів попередніх вимірювань (прямий перебір), умовним алгоритмом, при якому подальше вимірювання параметра залежить від результату попереднього вимірювання узагальненого параметра стану машини. При відхиленні узагальненого параметра від значення, що

допускається, більш детальна перевірка механізму не проводиться. В іншому випадку переходять до вимірювань інших параметрів цього механізму. Застосування умовних алгоритмів зменшує тривалість діагностики в 1,5-2 рази і більш. При переході від безумовних алгоритмів діагностики до умовних в основному необхідно вирішити три основні задачі: визначення тісноти зв'язку між структурними і діагностичними параметрами машини; вибір і уточнення номенклатури узагальнених діагностичних параметрів; встановлення відхилень узагальнених, що допускаються, і інших параметрів стани об'єкту, що діагностується. Заходи щодо зменшення часу встановлення режиму роботи і вимірювань параметрів стану достатньо ясні і не вимагають особливих пояснень.

Операції автоматизації торкаються також реєстрації результатів вимірювань, їх порівняння з відхиленнями параметрів, що допускаються, і прогнозування залишкового ресурсу агрегатів (табл., третя колонка). Вельми важливе питання апаратурної реалізації методів діагностування. Тут можна виділити три перспективні напрями: розробка комплектів простих і надійних приладів і пристроїв, заснованих переважно на механічних засобах вимірювань, вживаних при простому технічному обслуговуванні машин (наприклад, при ТО-1); розробка простих і універсальних електронних приладів для господарських робіт, а також для передремонтного діагностування і оцінки якості їх ремонту; розробка багатфункціональних автоматизованих систем діагностики, вживаних при складному технічному обслуговуванні (наприклад, при ТО-3 тракторів), а також для оцінки якості виготовлення і ремонту машин. [4]

Застосування перспективних методів діагностики, які реалізуються за допомогою автоматизованих (у тому числі електронних) приладів, а також поліпшення контролепридатності машин забезпечують радикальну зміну процесу контролю стану машин, зменшення його тривалості в 5-10 разів. В той же час різко підвищується вартість діагностичних засобів. В цих умовах набуває особливої важливості задача вибору діагностичних параметрів машин,

а також погрішностей їх вимірювань. Від номенклатури і погрішностей вимірювань діагностичних параметрів до кінцевого результату залежить як конструкція і вартість діагностичного засобу, так і глибина і трудомісткість контролю стану машин. Задача вибору діагностичних параметрів і погрішностей їх вимірювань може бути однозначно вирішена застосуванням економічного критерію в рамках комплексних досліджень по обґрунтуванню методів і засобів діагностики.

Виконання комплексних направлених досліджень за рішенням перерахованих задач дозволить охопити технічним діагностуванням увесь парк складних машин при мінімальних витратах і тим самим забезпечити різке збільшення безвідмовності, фактичного міжремонтного напрацювання, зниження вартості технічного обслуговування і ремонту машин, що діагностуються.

Діагностика і прогнозування ресурсу машин являється одним з найважливіших чинників управління ефективністю, експлуатаційною надійністю і довговічністю тракторів, автомобілів, комбайнів і інших машин. Мобільні машини, що поступають в сільське господарство відрізняються високою продуктивністю і надійністю. Але нова техніка пред'являє високі вимоги до якості технічного обслуговування і ремонту, точності регулювань, чистоти і властивостей паливних і змащувальних матеріалів.

Параметри надійності, закладені в машинах, не можуть бути реалізовані без використання можливостей, які відкриває діагностика і прогнозування ресурсу. Важлива роль належить діагностиці в рішенні задачі підвищення ресурсу ремонтіваних тракторів і автомобілів. Технічна діагностика досліджує форми прояви технічних станів машини, розробляє методи і засоби їх визначення і прогнозування. Процес визначення технічного стану вузла, агрегату, машини називають діагностикою, а результат діагностики - діагнозом. Прогноз технічного стану в деякий момент часу (на підставі діагнозу) називають прогнозом. Діагностичний параметр, який необхідний для визначення технічного стану, може бути непрямим (наприклад, по показниках

вібрації визначається величина зазору в сполученні поршень - гільза або в підшипникових вузлах). Розрізняють номінальне (початкове), допустиме і граничне значення діагностичного параметра. Допустиме значення параметра відповідає справному технічному стану агрегату або машини, коли останні виконують свої функції, забезпечуючи експлуатаційні показники в заданих межах. Номінальне значення параметра відноситься до нової або відремонтованої машини (вузла), який пройшов обкатку. Граничне значення - це найбільше (або якнайменше) допустиме значення параметра, за межами якого подальша експлуатація машини (вузла) стає невиправданою, небезпечною і може привести до відмов, поломок або аварій. [5]

Найважливішою характеристикою довговічності деталей або сполучень деталей є зносостійкість, тобто здатність деталі або сполучення створювати опір зношуванню. Зношенням називають процес поступової зміни розмірів по поверхні тертя, маси, зазору сполучення деталей, їх форми і ін. Відношення величини зносу до часу, протягом якого спостерігалось зношування, представляє собою швидкість зношування, а відношення величини зносу до шляху тертя (або об'єму виконаної роботи) - інтенсивність ношення. Стосовно двигунів введено поняття питомої швидкості зношування. Питомою швидкістю зношування тих або інших сполучень двигуна називають відношення швидкості зношування до потужності двигуна, при якій відбувалося виробування. Якщо визначати питому швидкість зношування деталей циліндро-поршневої групи двигуна на різних режимах (при постійній частоті обертання двигуна) навантажень, то залежність швидкості зношування від навантаження у загальних рисах аналогічна залежності годинної витрати палива, а залежність питомої швидкості зношування - залежність питомої витрати палива. Таким чином, в умовах навантажувальної характеристики двигуна можуть бути отримані показники паливної економічності і аналогічні показники зносостійкості деталей. Діагностика і прогнозування стану машин входять складовою частиною в систему технічного обслуговування. Призначення діагностики полягає у виявленні і попередженні відмов і



несправностей, підтримці оптимальних регулювань, експлуатаційних показників у встановлених межах, а прогнозування стану в цілях повного використання доремонтного і міжремонтного ресурсу машин.

Діагностика дозволяє підвищити термін служби машин і їх агрегатів; при цьому знижуються витрати на запасні частини, ремонт, зменшується витрата пального і змащувальних матеріалів, підвищується продуктивність і агротехнічна якість робіт. Крім того, не можна не враховувати нові елементи технічної психології. Там, де активно упроваджується діагностика,

підвищується відповідальність операторів за зміст і експлуатацію тракторів.

Беручи участь в проведенні діагностики, оператори стали глибше розуміти робочий процес машини, виявляти підвищену цікавість до її роботи, що поза сумнівом сприяє зростанню їх знань, технічного кругозору і кваліфікації.

Теорія і практика діагностики повинна розвиватися на реалізації принципів безрозбірності, універсальності методів і засобів, комплексності приладів і установок, забезпечення високої оперативності і ефективності їх використання в технологічному процесі. В цьому напрямі великі можливості відкривають методи і засоби, засновані на застосуванні електроніки.

Проведені дослідження показали, що там, де застосовуються прогресивні методи технічного обслуговування з використанням засобів діагностики, змінне вироблення агрегатів збільшується на 15-20%, простоті тракторів і комбайнів із технічних причин скорочуються в 2-3 рази, коефіцієнт технічної готовності парку досягає 96-97%, кількість ремонтів тракторів зменшується на 30%, а витрати на їх ремонт знижуються на 10-15%.

За допомогою відповідних датчиків і електронних приладів вимірювання діагностичних параметрів проводиться найсучаснішими і зручними електричними методами. В тракторах, автомобілях, комбайнах і інших мобільних машинах сільськогосподарського призначення найскладнішою є діагностика енергетичної установки - двигуна. Близько половини всіх відмов мобільних машин доводиться на двигун. Наукові основи діагностики двигуна розробляються із застосуванням термодинаміки і теплопередачі, динаміки

двигуна, теорії вірогідності і математичної статистики, віброакустики, теорії робочого процесу, електроніки і ін. Розробка проблеми діагностики повинна бути пов'язана і із спеціальними дисциплінами (експлуатація машинно-тракторного парку, ремонт машин, сільськогосподарські машини, технічний сервіс і ін.). В оцінці технічного стану машин найважливіше значення має безрозбірне визначення зазорів рухомих сполучень. Зазори в сполученнях циліндро-поршневої групи двигуна, підшипникових вузлах, передачах і інших в першу чергу визначають ресурс або необхідність глибокого розбирання і ремонту.

Перевірка потужності і паливної економічності двигуна дозволяє знайти несправності і порушення регулювань в системі живлення двигуна. Але необхідність глибокого розбирання або ремонтного втручання повинна визначатися по інших показниках. Вимагають уважного вивчення методи, основані на аналізі проб оливо, відібраних з картера (спектральні методи і ін.). Концентрація того або іншого характерного елемента (заліза, алюмінію, хрому, міді і ін.) є показником швидкості зношування відповідних деталей. В безрозбірній діагностиці закритих вузлів машини повинні бути методи, засновані на застосуванні волоконної оптики. Пристрій з гнучким волоконним світлопроводом дозволяє через наявний отвір або люк обстежувати стан деталей або поверхонь, недоступних безпосередньому візуальному огляду. Так, через отвір форсунки можна оглянути днище поршня, тарілки клапанів, гільзу і т.п.

У міру розвитку методів і засобів діагностики необхідність відповідних операцій обслуговування і ремонту визначатиметься не по досвідчено-статистичних показниках періодичності, а на основі діагностування і обліку індивідуальних особливостей стану машин.

Виявити в польових умовах порушення рівномірності і величини подачі палива можна лише за снільним погіршенням роботи двигуна. Допустимий спосіб для оцінки рівномірності і величини подачі палива окремими насаєними елементами безпосередньо на двигуні - вимкнення окремих

циліндрів. Він дозволяє для двигунів, які мають чотири циліндра і більше, визначити витрату палива без спеціальних гальмівних пристроїв. При випробовуванні вимірюють кількість обертів колінчастого валу двигуна в хвилину і витрату палива працюючим циліндром.

Величину кута випередження палива на двигуні можна перевірити сітчастим диском, установним шаблоном і електричним моментоскопом. Зовнішніми ознаками кута випередження впорскування палива на дизелі є зниження потужності, димний вихлоп і поганий запуск.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

## РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ВІБРОАКУСТИЧНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ ЦИЛІНДРО-ПОРШНЕВОЇ ГРУПИ

### 2.1. Математична модель виникнення віброударного імпульсу в циліндро-поршневій групі

Оптимальне вирішення завдань віброакустичного діагностування дизельних двигунів, може бути отримане тільки в результаті аналізу множини  $W$  станів, у яких вони можуть перебувати в період експлуатації. В числі деталей, стан яких визначає необхідність відправлення двигуна в капітальний ремонт, значне місце 63% посідає циліндро-поршнева група (ЦПГ). Безрозбірне визначення зазору в з'єднанні "поршень-гільза" є одним з найбільш важливих завдань при діагностуванні двигуна.

Рациональний вибір діагностичних ознак, тобто характеру коливань процесів, які супроводжують роботу двигуна, в значній мірі визначає вирішення задач віброакустичного діагностування.

Побудова алгоритмів розпізнавання технічного стану в діагностиці суттєво спрощується завдяки побудові математичної моделі, яка б описувала зв'язок між множиною діагностичних ознак. При цьому не має суттєвого значення, у якій формі подано цей зв'язок.

Характер виникнення коливань процесів у ДВЗ своєрідний. Відмінною особливістю його є імпульсний характер збудження, викликаний великою швидкістю наростання тиску в камері згорання, ударами при перекладці поршнів в зазорах, процесами впорскування палива та впуском відпрацьованих газів.

Наявність зазору ЦПГ (рис. 2.1.), а також діючі на поршень періодично змінні навантаження обумовлюють бокові переміщення поршня, які супроводжуються ударами останнього об гільзу. Дана властивість може бути використана при побудові математичної моделі радіального руху поршня і, як наслідок визначення технічного стану з'єднання.

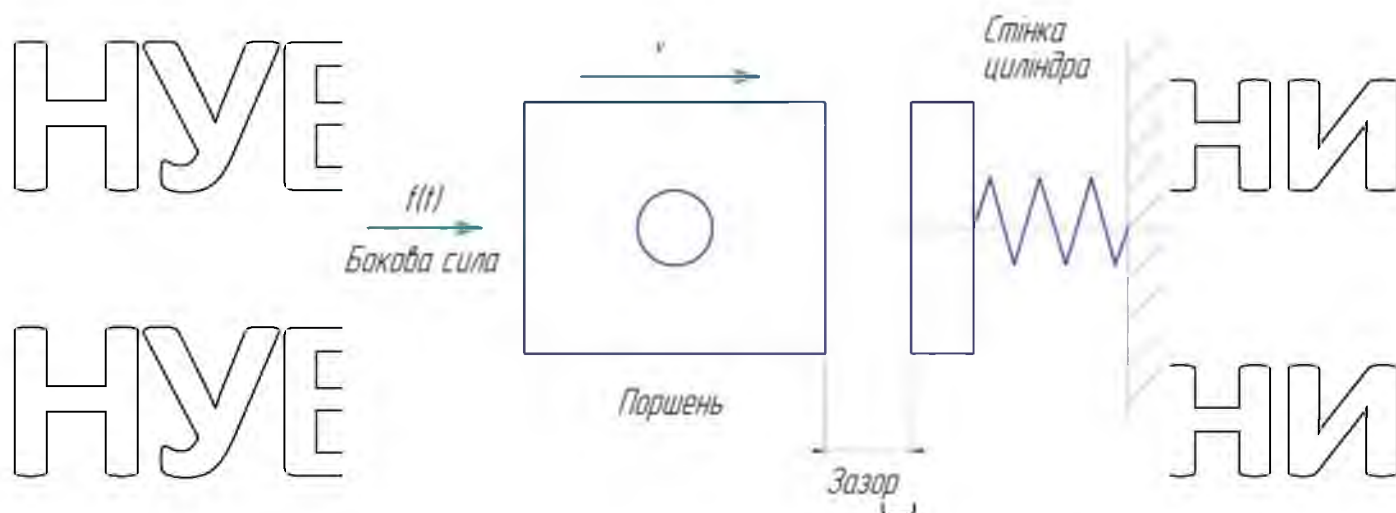


Рис. 2.1. Схематичне зображення моделі виникнення віброакустичного посилення в циліндро-поршневій групі.

## 2.2. Динаміка двигуна та формування вібрації в зоні циліндрів

В працюючому двигуні розрізняють три види фізичних процесів: рух його деталей; взаємний обмін енергією з навколишнім середовищем; спрацювання деталей. Діагностування має відношення до всіх цих процесів. Спрацювання деталей змінює стан механізму, визначення якого і складає задачу діагностування. Процеси взаємодії механізму з навколишнім середовищем можна вважати діагностичним сигналом. І, як наслідок, завдяки руху механізму встановлюється зв'язок між станом його деталей і діагностичним сигналом.

У силу кінематики роботи повзунів, в поршневій групі дизельних двигунів відбувається перекидка поршня з одного боку гільзи на інший. Наявність зазору між поршнем і направляючою циліндра підсилює це явище. Перекидка проходить при зміні напрямку рівнодіючої бокової сили  $N$ . Закономірності радіального руху поршня в циліндрі розглядалися в роботах [3, 19, 28]. Найбільш інтенсивний удар поршня об гільзу виникає поблизу верхньої мертвої точки на такті розширення, так як величина сили  $N$  має тут найбільше значення. Удар в цьому випадку направлений у бік, протилежний обертанню колінчастого валу.

Величина бокової сили  $N$ , може бути визначена за виразом:

$$N = (P_n + P_s) \operatorname{tg} \beta \quad (2.1)$$

де  $P_n$  – сила тиску газів на поршень, діюча по осі циліндра;



$P_i$  – сила інерції мас, що рухаються поступально;  
 $\beta$  – кут нахилу шагуна.  
 Силу газів можна визначити користуючись залежністю

$$P_r = (p_r + p_0) F_b \quad (2.2)$$

де  $p_r$  – тиск газів в циліндрі визначений за індикаторною діаграмою;

$p_0$  – тиск у картері двигуна (приймається рівним тиску навколишнього середовища)

### 2.3. Класифікація систем діагностування

Системи діагностування застосовуються для контролю готових виробів на заводах-виробниках для оцінки технічного стану машин в умовах експлуатації. У першому випадку завданням є виявлення браку в продукції, що випускається, визначення виду дефектів і атестація виробів. У другому випадку за допомогою діагностики встановлюється потреба механізмів в ремонті і оцінюється їх залишковий моторесурс.

Структура технічної діагностики. На рис. 2.2 зображена структура технічної діагностики. Вона характеризується двома взаємопроникними і взаємопов'язаними напрямками: теорією розпізнавання і теорією контролездібності. Теорія розпізнавання містить розділи, пов'язані з побудовою алгоритмів розпізнавання, вирішальних правил і діагностичних моделей. Теорія контролездібності включає розробку засобів і методів отримання діагностичної інформації, автоматизований контроль і пошук несправностей. Технічну діагностику слід розглядати як розділ загальної теорії надійності.

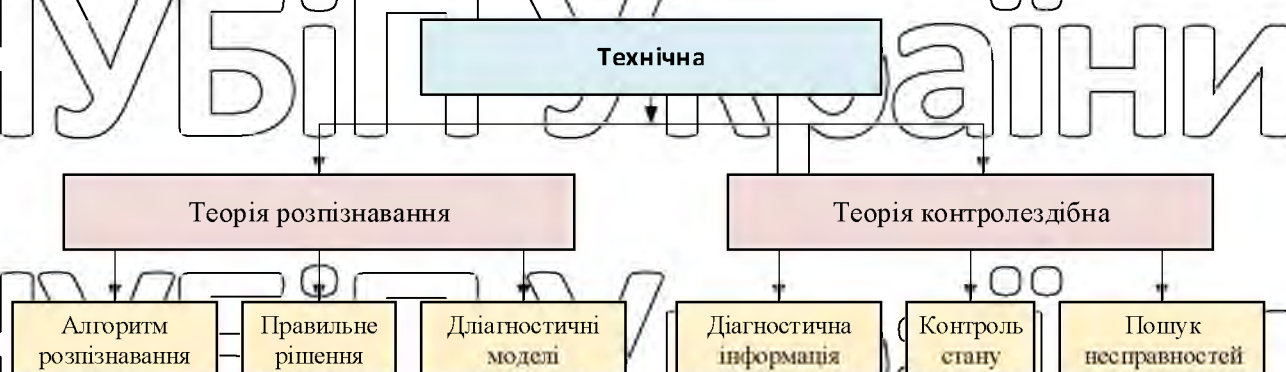


Рис.2.2. Структурна схема технічної діагностики.

Системи діагностики розрізняються рівнем отримуваної інформації про механізм. Існують прості прилади сигналізації, які реагують на погіршення певного параметра механізму понад допустиму норму. Разом з тим відомі діагностичні системи великої складності, що включають універсальну обчислювальну машину. Залежно від вирішуваного завдання можна виділити наступні класи діагностичних систем.

1. Системи для розбракування механізмів. Цими системами розрізняються тільки два класи можливих станів механізму - «справний» і «несправний». При простоті постановки завдання системи діагностики цього виду Можуть бути вельми складними. Все залежить від того, який параметр механізму використовується для ухвалення діагностичного рішення. Система буде простою, якщо такий параметр служить одним з критеріїв ефективності механізму (потужність двигуна і питома витрата палива, рівень шуму або ККД).

Але система діагностики буде на багато порядків складніше, якщо за оціночний параметр механізму прийняти його надійність, оскільки для оцінки надійності механізму потрібно знати стан всіх його елементів.

2. Системи для атестації механізмів. При цьому вирішується більш загальне завдання діагностики: по прийнятому від механізму сигналу потрібно визначити клас, до якого належить стан обстежуваного механізму. Розбиття можливих станів на класи виконується заздалегідь по необхідній точності діагнозу. Як і у попередньому випадку, складність подібних систем залежить від того, чи входить до числа ознак класифікації станів механізму його надійність.

При атестації механізмів по їх надійності виникає потреба визначення стану всіх елементів механізму.

3. Системи для вимірювання прихованих параметрів механізму без його розбирання. Завдання їх полягає у визначенні величини параметрів  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , прийнятих для опису стану механізму, по величині параметрів сигналу  $s_1, s_2, \dots, s_m$ . Це завдання є найзагальнішим завданням діагнозу, до якого можна звести будь-яку іншу з вказаних тут. Система діагностики, призначена для її вирішення, може бути використана і для вирішення всіх інших приватних завдань.

4. Системи прогнозування стану механізму. По відомих станах механізму в попередні моменти часу і по його поточному стану система діагностики повинна визначити стан, в який перейде механізм після  $t$  годин роботи.

Системи діагностики можуть відрізнятися рівнем автоматизації процесу постановки діагнозу, природою фізичних процесів, використовуваних як діагностичний сигнал, і за багатьма іншими ознаками. Необхідно вказати ще одну ознаку, якою можуть розрізнятися системи діагностики, оскільки він має істотне значення для подальшого викладу. Процеси, супроводжуючі роботу механізму і що несуть діагностичну інформацію, можна представити як функції

часу,  $s(t)$ . Такими функціями часу будуть: температура охолодної рідини двигуна, прозорість його вихлопних газів, витрата палива і повітря, рівень шуму і багато інших процесів. Використовуючи датчики з високою інерційністю або

інтегруючи сигнал з датчика в спеціальному пристрої, можна охарактеризувати процес однією постійною величиною - середнім значенням змінного параметра

$s$ :

$$\bar{s} = \frac{1}{T} \int_0^T s(t) dt. \quad (2.3)$$

В деяких випадках, коли середнє значення дорівнює нулю, за характеристику протікання процесу можна узяти його дисперсію:

$$\bar{s}^2 = \frac{1}{T} \int_0^T [s(t)]^2 dt. \quad (2.4)$$

Якщо процес може бути охарактеризований максимальним значенням параметра, що змінюється, наприклад процес в циліндрі двигуна - максимальним індикаторним тиском:

$$s_{max} = \max |s(t)|; 0 \leq t \leq T. \quad (2.5)$$

Оскільки стан механізму зазвичай описується не одним, а цілою сукупністю параметрів, то при вказаній вище обробці сигналів для однозначного діагностування механізму потрібно використовувати велике число різноманітних процесів.

Ще в 70-их роках розглядали систему діагностики танкового двигуна, яка включає 60 датчиків для реєстрації такого ж числа процесів, супроводжуючих



роботу двигуна. Але система діагностики може бути побудована і на іншому принципі. Замість того щоб реєструвати і усереднювати велике число різних процесів, реєструється тільки один з них, але для його аналізу використовується такий спосіб обробки сигналу, з якого витягується вся діагностична інформація.

Системи діагностики першого вигляду можна назвати статистичними, оскільки вони мають справу з постійними значеннями сигналу. Системи другого вигляду називають динамічними, оскільки вони оперують із змінними сигналами, що головним чином мають коливальний характер. Такі сигнали володіють складною тимчасовою і спектральною структурою, тому здатні переносити великі об'єми інформації.

Використання всього одного процесу замість безлічі різнорідних по фізичній природі процесів слід вважати за гідність динамічної системи діагностики в порівнянні із статичною. Другою гідністю цієї системи є можливість використовувати при діагнозі всього два датчики. Один потрібний для реєстрації процесу, використовуваного в якості діагностичного сигналу, а інший - для вироблення опорного сигналу, тобто відбивання тимчасових міток, пов'язаних з характерними фазами руху механізму, наприклад з проходженням поршнем двигуна верхньої мертвої точки.

Виклад принципів створення динамічної системи діагностики, побудованої на використанні пружних коливань механізму, пов'язаних з його роботою, і складає основний зміст книги Павлова Б. В. Але слід розглянути і інші методи діагностики, які дозволяють проілюструвати загальну постановку завдання і виявити проблеми, що виникають при цьому. Методи, які зараз будуть описані, цікаві також тим, що вони побудовані на принципах, які істотно відрізняються від тих, що розглядаються в даній роботі.

Сигнали на виході датчиків мають аналогову форму. Для їх перетворення в цифровий код служить перетворювач «аналог-код». Інформація з виходу перетворювача поступає в пам'ять машини. Послідовність вимірів, адресація осередків, в які поміщаються дані, здійснюються обчислювальною машиною без участі людини за спеціальною програмою. Обчислювальна машина задає і режим

роботи обстежуваного двигуна. Блок-схема алгоритму процедури діагнозу зображена на рис. 2.3. Для забезпечення найбільшої надійності діагнозу виміри проводяться на трьох режимах роботи двигуна. Для отримання числових даних, що характеризують різні стани двигуна, проводилися обширно експериментальні дослідження двох видів: а) форсоване зношування двигуна до виходу його з ладу; б) штучне створення несправностей.

Досвід американських учених по використанню обчислювальних машин для технічної діагностики повчальний і потребує ґрунтовного вивчення. Він наочно показує складність проблеми і виявляє ще невирішені питання.

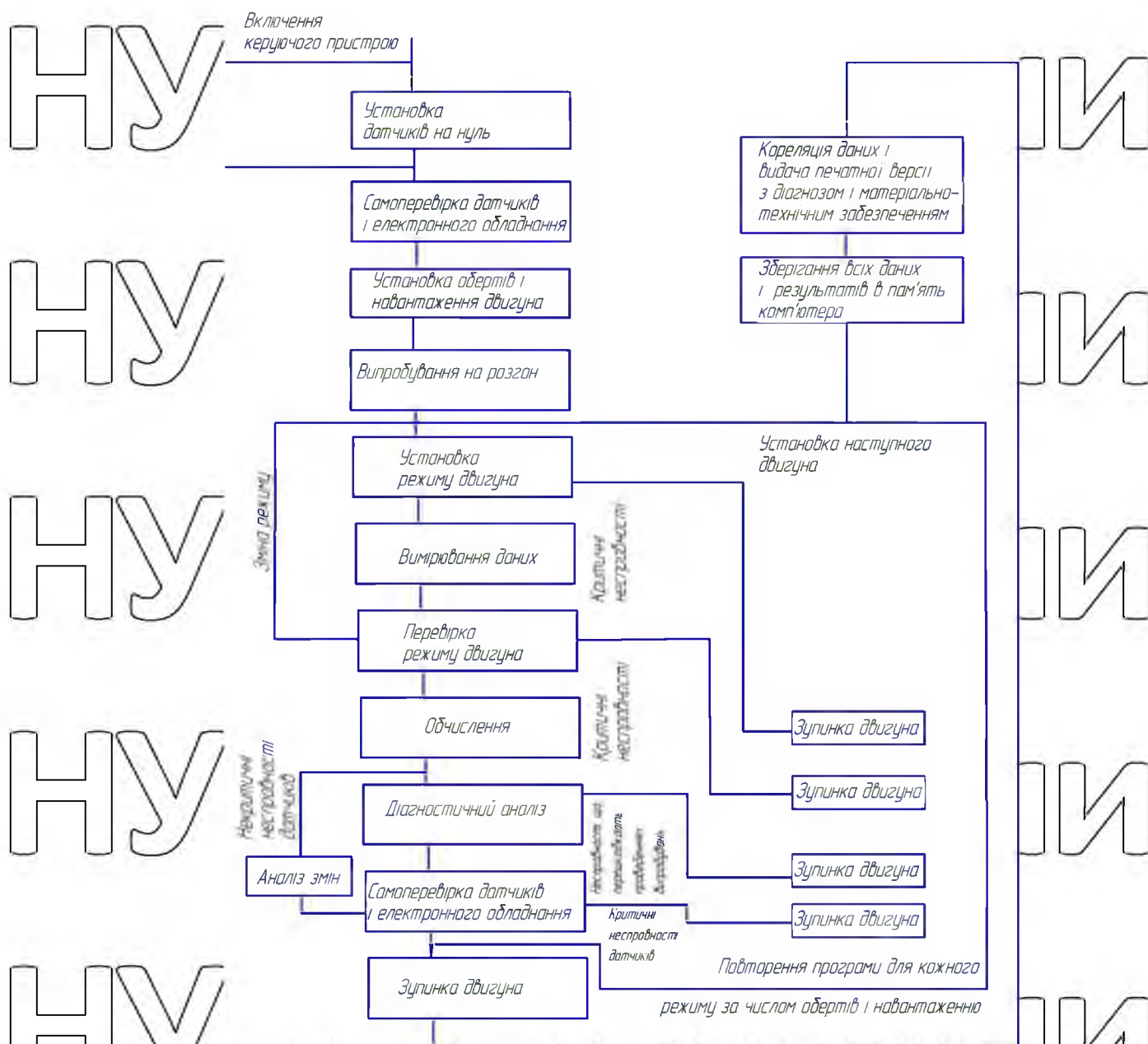


Рис. 2.3. Блок-схема алгоритму діагнозу

Встановлення залежностей між параметрами сигналу і параметрами технічного стану вимагає великих експериментальних досліджень. Ще більш дослідження мають бути проведені для виявлення впливу параметрів стану механізмів на їх надійність і інші техніко-економічні показники. На рис. 2.4. зображена блок-схема алгоритму діагнозу клапанного механізму.

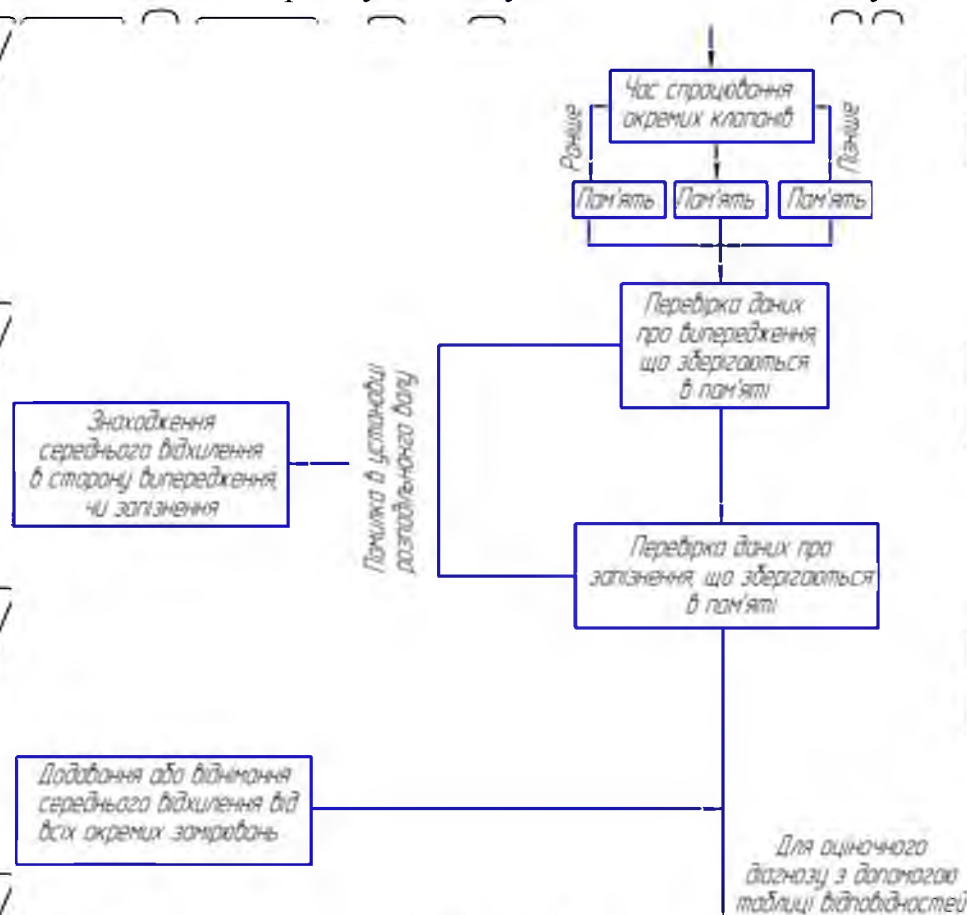


Рис. 2.4. Блок-схема алгоритму діагнозу клапанного механізму

Інакше навіть здійснена система діагностики не дозволить ухвалювати відносно механізму обгрунтованих рішень, і результати діагностики не можуть бути ефективно використані. Діагностичні пристрої, навіть після їх удосконалення, залишаються досить складними. Але нам представляється, що все-таки можливе істотне спрощення діагностичної системи, якщо як діагностичний сигнал використовувати акустичні коливання. Спрощення можна чекати за рахунок скорочення числа датчиків, підсилювачів, перетворювачів і комутаторів.

## 2.4. Режим роботи двигуна під час діагностування

При розгляді руху деталей по паразитних мірах свободи передбачалося, що механізм працює в стаціонарному режимі. Це припущення буде збережено і надалі. Тому слід уточнити поняття стаціонарного режиму.

Для працюючого механізму можна написати узагальнене рівняння енергії:

$$\frac{d}{dx} (T + \Pi) + 2\Phi = N, \quad (2.6)$$

де  $T$  - кінетична енергія рухомих деталей, причому враховуються їх переміщення як по запроєктованих, так і по паразитних мірах свободи:

$$T = \sum_{j,i=1}^{\alpha} a_{ij} \dot{q}_i \dot{q}_j, \quad (2.7)$$

де  $\dot{q}_i, \dot{q}_j$  - узагальнені швидкості деталей;

$\alpha$  - ступені свободи механізму;

$\Pi$  - потенційна енергія пружних взаємодій, яка є функцією узагальнених координат:

$$\Pi = \sum_{j,i=1}^{\alpha} b_{ij} \dot{q}_i \dot{q}_j; \quad (2.8)$$

$\Phi$  - функція Релея

$$\Phi = \sum_i^{\alpha} k_i \int_0^{q_i} f_i(u) du, \quad (2.9)$$

де  $k_i, f_i$  - позитивні функції від узагальнених координат і швидкостей (величина  $2\Phi$  відповідає кількості енергії, що втрачається механізмом в одиницю часу);

$N$  - потужність всіх зовнішніх сил:

$$N = \sum_{i=1}^{\beta} Q_i \dot{q}_i, \quad (2.10)$$

де  $Q_i$  - складова узагальненої зовнішньої сили, що діє уподовж  $i$ -й координати;

$\beta$  - ступені свободи механізму.

Рух механізму буде стаціонарним, якщо потужність всіх зовнішніх сил, що діють на нього, рівна енергії, що втрачається механізмом в одиницю часу, тобто якщо

$$2\Phi = N \quad (2.11)$$

$$\frac{d}{dt}(T + \Pi) = 0 \quad (2.12)$$

$$T + \Pi = const. \quad (2.13)$$

При стаціонарному режимі механізм знаходиться в енергетичній рівновазі із зовнішнім середовищем, тобто притока енергії в систему дорівнює її спаду.

Повна механічна енергія системи залишається постійною в процесі руху.

Для стаціонарності руху механізму необхідне виконання двох умов. Перше полягає у вимозі постійності структури механізму під час руху. Це означає, що

стан механізму не повинен мінятися. Очевидно, що подібну умову можна задовольнити лише приблизно, для невеликих інтервалів часу.

Властивості механізму, як і будь-якого іншого матеріального об'єкту, міняються з часом. Можна розрізнити дві категорії процесів, що протікають в механізмі і мають

різний масштаб часу. Перша категорія об'єднує процеси руху деталей, друга - процеси руйнування і зносу механізму, тобто зміни його стану.

## 2.5. Вібродіагностування

Рівень контролепридатності об'єктів визначає ступінь ефективності вирішення завдань тестового діагностування їх технічного стану, впливає на продуктивність процесу їх виробництва і якість виробів, що випускаються, а при експлуатації рівень контролепридатності об'єктів визначає їх коефіцієнти готовності і витрати, пов'язані з ремонтом.

Контролепридатності забезпечується перетворенням структури об'єкту, що перевіряється, до вигляду, зручного для діагностування. Для цього в об'єкт ще на етапі його прсекування вводять додатково вбудовані засоби тестового діагностування.

Завдання діагностики - це завдання визначення технічного стану, в якому знаходиться об'єкт в даний момент. Завдання діагностування - прогноз технічного стану, в якому об'єкт опиниться в деякий майбутній момент часу.

Завдання першого типу формально слід віднести до технічної діагностики, а другого типу - до технічної прогностики.

Є ще третій тип завдань - визначення технічного стану об'єкту в деякий момент у минулому (завдання технічної генетики). Завдання технічної генетики виникають, наприклад, у зв'язку з розслідуванням аварій і їх причин, коли технічний стан об'єкту в даний час відрізняється від стану, в якому він був у минулому, в результаті появи першопричини, що викликала аварію. Ці завдання вирішуються шляхом визначення вірогідних передісторії, ведучих в справжній стан об'єкту. До завдань технічної прогностики відносяться, наприклад, завдання, пов'язані з визначенням терміну служби об'єкту або з призначенням періодичності його профілактичних перевірок і ремонтів. Ці завдання вирішуються шляхом визначення можливих або вірогідних еволюції стану об'єкту, таких, що починаються зараз часу.

Вирішення завдань прогнозування вельми важливе, зокрема, для організації технічного обслуговування об'єктів по стану (замість обслуговування по ресурсу). Безпосереднє перенесення методів вирішення завдань діагностування на завдання прогнозування неможливе із-за відмінності моделей, з якими доводиться працювати: при діагностуванні моделлю зазвичай є опис об'єкту, тоді як при прогнозуванні необхідна модель процесу еволюції технічних характеристик об'єкту в часі.

## 2.6. Загальні відомості про пошук дефектів.

Головними показниками якості систем діагностування є ті, що гарантуються ними повнота виявлення і глибина пошуку дефектів.

Діагностування стану машин і оцінка ступеня небезпеки пошкодження на основі даних контролю вібрації - один з найбільш ефективних методів підвищення надійності устаткування. Вібраційне діагностування об'єктів проводиться в три етапи: первинний опис вібраційного стану об'єкту, виділення ознак і ухвалення рішення.



На етапі пошуку інформативних ознак обмежують число вимірюваних параметрів вібрації, шуму і ударів. При цьому з безпечні параметрів, що характеризують вібраційний процес, виділяють тільки ті, які прямо або побічно характеризують стан об'єкту. По цих параметрах формулюють інформативну систему ознак, використовуваних при діагностуванні.

Основні параметри різних вібраційних процесів, вимірювані для визначення стани машин методами вібродіагностування, приведені в табл. 2.1.

Вибір діагностичних параметрів вібрації залежить від типів досліджуваних механізмів, амплітудного і частотного діапазону вимірюваних коливань.

У низькочастотному діапазоні частіше вимірюють параметри вібропереміщення, в середньо-частотному віброшвидкості, а у високочастотному - віброприскорення.

Вібропереміщення представляє інтерес в тих випадках, коли необхідно знати відносний зсув об'єкту або деформацію. Якщо досліджують ефективність вібраційних машин, а також дію вібрації на організм людини, то вивчають швидкість вібрації, оскільки саме вона визначає імпульс сили і кінетичну енергію. При оцінці надійності об'єктів основним вимірюваним параметром є віброприскорення.

Залежно від спектрального складу, розподіли рівнів вібрації в діапазоні частот і в часі, а також від нормування допустимого рівня вимірюють амплітудні, середні або середні квадратичні значення. Основною перевагою вимірювання середніх квадратичних значень є незалежність цих значень від зрушень фаз між окремими складовими спектрів вимірюваної вібрації.

При вимірюванні параметрів вібрації використовують два методи вимірювання: кінематичний і динамічний. Кінематичний метод полягає в тому, що вимірюють координати точок об'єкту щодо вибраної нерухомої системи координат. Вимірювальні перетворювачі, засновані на цьому методі вимірювання, називають перетворювачами відносної вібрації.

Таблиця 2.1.

Основні параметри різних вібраційних процесів

Основні вимірювальні параметри 1	Математичний опис 2	Позначення 3
<b>Моногармонічна вібрація</b>		
Вібропереміщення  Віброшвидкість Віброприскорення Різкість	$x(t) = X_0 \sin(\omega t + \varphi)$ $v(t) = V_0 \cos(\omega t + \varphi)$ $a(t) = A_0 \sin(\omega t + \varphi)$ $u = da(t)/dt$	$X_0$ – амплітуда вібропереміщення $V_0 = \omega X_0$ $A_0 = \omega^2 X_0$ $\omega, \varphi$ – кутова частота і фаза коливань відповідно
<b>Полігармонічна вібрація</b>		
Розмах коливань	$x(t) = \frac{X_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} X_n \sin(n\omega t + \varphi_n)$	$X_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2}; n = 1, 2, 3, \dots$ $a_n = \frac{2}{T} \int_0^T x(t) \cos n\omega t dt;$ $b_n = \frac{2}{T} \int_0^T x(t) \sin n\omega t dt;$ $\varphi_n = \arctg(b_n/a_n)$
<b>Широкосмугова випадкова вібрація</b>		
Дисперсія  Середньоквадратичне відхилення Спектральна щільність потужності	$D_x = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T [x(t) - m_x(t)]^2 dt$ <p>Для стаціонарного ергодинамічного процесу</p> $D_x = \overline{x^2(t)} - [\bar{x}(t)]^2$ $\sigma_x = \sqrt{D_x}$ $S(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} R(\tau) e^{-i\omega\tau} d\tau$	$m_x(t) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T x(t) dt$ – середнє значення $R(\tau) = M[x(t)x(t+\tau)]$ – кореляційна функція; $M$ – математичне очікування
<b>Акустична вібрація</b>		



<p>Середньоквадратичне значення звукового тиску</p>	$p = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T p^2(t) dt}$	<p><math>p(t)</math> - миттєве значення звукового тиску; <math>T</math> - час інтегрування</p>
<p>Рівень акустичної потужності</p>	$YMЗ = \lg \left( \frac{W}{W_0} \right) =$ $= 20 \lg \left( \frac{\bar{p}}{p_0} \right) + 10 \lg \left( \frac{2\pi R^2}{S_0} \right)$	<p><math>W</math> - потужність машин, яка визначається акустикою; <math>W_0</math> - акустична потужність, яка приймається за опорну; <math>\bar{p}</math> - середній вимірний звуковий тиск;</p> <p><math>p_0 = 2 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м}^2</math>; <math>S_0 = 1 \text{ м}^2</math></p>
<p><b>Ударна вібрація</b></p>		
<p>Лінійне переміщення</p>	$x = \begin{cases} X_0 + \int_0^t v(t) dt & \text{при } 0 \leq t \leq t_k \\ X_0 + \int_0^{t_k} v(t) dt & \text{при } t \geq t_k \end{cases}$	<p><math>t_k</math> - тривалість ударного процесу по прискоренню на нульовому рівні</p>
<p>Лінійна швидкість</p>	$v = \begin{cases} v_0 + \int_0^t a(t) dt & \text{при } 0 \leq t \leq t_k \\ v_0 + \int_0^{t_k} a(t) dt & \text{при } t \geq t_k \end{cases}$	
<p>Лінійне прискорення</p>	$a = \begin{cases} 0 & \text{при } t \leq 0; \\ a(t) & \text{при } 0 \leq t \leq t_k \\ 0 & \text{при } t \geq t_k \end{cases}$ $S(f) = 2x f[F(t)]$	
<p>Ударний спектр</p> <p>Тривалість удару (на рівні 3Дб)</p>		<p><math>F(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} F(t) e^{-t\omega t} dt</math> - перетворення Фур'є</p>

*Динамічний метод* заснований на тому, що параметри вібрації вимірюють щодо штучної нерухомої системи відліку, в більшості випадків інерційного

елементу, пов'язаного з об'єктом через пружний підвіс. Такі прилади називають перетворювачами абсолютної вібрації, частіше сейсмічними системами.

Вимірювальні перетворювачі вібрації засновані на різних фізичних принципах перетворення механічних коливань в електричний сигнал.

Типи вимірювальних перетворювачів:

1. Перетворювачі абсолютної вібрації: генераторні п'єзоелектричні; індукційні; на основі ефекту Холла параметричні; резистори, п'єзорезисторні, індуктивні, трансформаторні, магнітопружні, ємкісні, електронно-механічні, вібраційно-частотні, гранично контактні, імпедансні.

2. Безконтактні вимірники відносної вібрації: магнітні, радіохвильові, електромагнітні, акустичні, радіаційні, оптичні.

У безконтактних вимірниках реалізують кінематичний метод вимірювання параметрів відносної вібрації на основі використання оптичних радіохвильових і ін. електромагнітних полів. Найбільше застосування в безконтактній вібродіагностиці знайшли оптичні методи і засоби вимірювання параметрів вібрації, які за способом виділення інформації про вимірюваний параметр ділять на амплітудних і частотних. До амплітудних методів вимірювань відносять фотоелектронні, дифракційні і інтерферентні методи вимірювання, а також методи з використанням просторової модуляції світлового потоку.

Вимірювання параметрів вібрації, засноване на вимірюванні частоти випромінювання оптичного квантового генератора, відбитого від об'єкту, проводять вимірювальними пристроями, дія яких заснована на використанні ефекту Доплера.

Перетворювачі значень вібрації в електричний сигнал ділять на два класи: генераторні, перетворюючі енергію механічних коливань в електричну; параметричні, перетворюючі механічні коливання в зміну параметрів електричних ланцюгів, наприклад, індуктивності, ємкості, активного опору, частоти або зрушення фаз і так далі.

Для вібродіагностики машин і механізмів використовують в основному п'єзоелектричні і електродинамічні перетворювачі, що відносяться до

генераторних, а також індуктивні, вихреструмові і ємкісні, такі, що відносяться до параметричних.

П'єзоелектричні перетворювачі застосовують для вимірювання параметрів абсолютних коливань необертальних частин механізмів. П'єзоелектричні перетворювачі володіють високими метрологічними властивостями, широким амплітудним і частотним діапазоном, високою надійністю і порівняно низькою вартістю. Основними їх недоліками є високий вихідний опір і низька перешкодозахисна. У меншій мірі ці недоліки властиві п'єзорезистивним перетворювачам, що відносяться до класу параметричних перетворювачів.

Простий п'єзоелектричний перетворювач можна представити у вигляді пластини, виготовленої з кварцу або штучної п'єзокераміки. Для виготовлення п'єзокераміки застосовують цирконат титанат свинцю (ЦТС), титанат вісмуту (ТВ) і ін. Пластину прикріплюють до того, що сприймає зовнішні коливання підставі, на іншій стороні пластини мають в своєму розпорядженні вантаж масу  $m$ . Власна частота сейсмічної системи такого перетворювача

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{c_1}{m}}, \quad (2.14)$$

де  $c_1$  - коефіцієнт пружності п'єзоелемента у напрямі додатку сили інерції вантажу масою  $m$ .

У частотному діапазоні  $f_i \ll f_0$  на виході перетворювача утворюється заряд  $q(t)$ , пропорційний сприйманому віброприскоренню  $a(t)$ :

$$q(t) = d_{11} k a(t); \quad (2.15)$$

де  $d_{11}$  і  $k$  - п'єзомодуль і коефіцієнт перетворення відповідно. Величина заряду  $q(t)$  перетвориться в електричну напругу або струм. При виборі п'єзоелектричних перетворювачів для конкретних виробств необхідно враховувати їх температурний, амплітудний і частотний діапазони, коефіцієнти перетворення, частоту установочного резонансу і так далі.

Електродинамічні перетворювачі застосовують для вимірювання параметрів вібрації в частотному діапазоні 1 Гц - 2 кГц.

Електродинамічний перетворювач містить магнітну систему, в зазорі якої розташована котушка з дротом. Зазвичай магнітна система закріплена на підставі, а котушка жорстко сполучена з сейсмічною масою.

При дії зовнішньої вібрації  $e(t)$  і відносних коливаннях  $x(t)$  в котушці наводиться ЕРС:

$$e(t) = BW l_{cp} \frac{dx(t)}{dt}, \quad (2.16)$$

де  $B$ ,  $W$ ,  $l_{cp}$  - магнітна індукція в зазорі, число витків і середній діаметр витка рухомої котушки відповідно.

Електродинамічні перетворювачі працюють на частотах, що значно перевищують власну частоту сейсмічної системи, тобто при  $y \gg 1$ .

ЕРС на виході котушки пропорційна віброшвидкості гармонійних коливань:

$$e(t) = k \omega e_a \cos \omega t, \quad \text{где } k = B W l_{cp}. \quad (2.17)$$

При роботі електродинамічних перетворювачів в першому частотному діапазоні і  $y \ll 1$  ЕРС на його виході буде пропорційна різкості, тобто

$$e(t) = k \frac{d^3 e(t)}{dt^3}. \quad (2.18)$$

До переваг електродинамічних вібродатчиків слід віднести широкий амплітудний діапазон, низький вихідний опір і можливість передачі сигналів по довгій лінії зв'язку.

Для більшості параметричних перетворювачів заснована на зміні комплексних опорів або провідності електричних ланцюгів.

Найбільшого поширення набули перетворювачі індуктивні, трансформаторні, вихреструмові, магнітопружинні, механотронні і ємнісні.

## 2.7. Пристосованість двигунів внутрішнього згорання мобільної сільськогосподарської техніки до діагностування

Широке застосування діагностики двигунів можливо за умови їх пристосованості до проведення діагностичних операцій і прогнозування технічного стану. Пристосованість двигунів до діагностики визначається

можливістю установки різних датчиків і іншого устаткування для отримання необхідних діагностичних параметрів без втручання в роботу і конструкцію деталей які діагностуються, вузлів, механізмів і систем. [6]

Сучасні автотракторні двигуни мають обмежену пристосованість до діагностики, що не дозволяє ефективно використовувати ряд приладів і устаткування, розробленого останнім часом. Основні вимоги до двигунів по пристосованості до діагностики визначаються змістом діагностичних операцій і вживаними для цієї мети устаткуванням і приладами.

З урахуванням розробленого до теперішнього часу діагностичного устаткування і оцінки перспектив його застосування представляються доцільними наступні конструктивні заходи щодо пристосування двигунів до діагностики.

1. Установка вивідного валу, частота обертання якого рівна частоті обертання колінчастого валу. Призначення вивідного валу — вимірювання частоти обертання колінчастого валу для визначення потужності кожного циліндра і двигуна в цілому безгальмівним методом, перевірка настройки регулятора, вимірювання кута випередження подачі палива, підключення стробоскопічних пристроїв віброакустичних електронних приладів, вимірювання інших фазових параметрів

2. Вмонтовування або установка на паливний насос знімних вимикачів подачі палива для виключення з роботи циліндрів при безгальмівному парціальному методах навантаження з метою визначення потужності двигуна.

3. Введення в конструкцію паливного насоса сигналізатора початку дії регулятора.

4. Установка на випускному патрубку очисника повітря спеціального штуцера із заглушкою для під'єднання вакуумметра з метою контролю засміченості очисника повітря і герметичності тракту впускання.

5. Застосування на паливних фільтрах уніфікованих знімних подовжених порожнистих болтів з додатковими поворотними косинцями для визначення

технічного стану фільтруючих елементів, підкачуючих насосів і перепускних клапанів.

6. Забезпечення можливості підключення контрольного оливного манометра на тракторі, а також упровадження уніфікованих штуцерів із заглушками на вході і виході оливи з фільтрів для підключення манометрів при діагностиці.

7. Встановлення датчика в картері для виміру кількості газів, що прориваються з циліндрів.

8. Забезпечення настановних баз для кріплення датчиків вібрацій в діагностичних зонах і датчиків температури циліндрів двигунів повітряного охолодження.

9. Забезпечення прокручування колінчастого валу двигуна у зворотному напрямі для перевірки початку подачі палива насосом, визначення зазорів в деталях кривошипно - шатунного механізму і регулювання клапанного механізму.

10. Встановлення індикатора накипу в системі охолодження двигуна для контролю утворення накипу в найбільш теплонапружених зонах.

11. Встановлення на щитку приладів в кабіні показчика швидкісного режиму двигуна, сигналізаторів рівня води в радіаторі і завантаження двигуна.

12. Встановлення датчиків частоти обертання одивної центрифуги і турбоагнітання, датчика для контролю забруднення фільтру тонкого очищення палива з показчиками на щитку приладів. Оцінка протікання робочого процесу може бути також проведена по температурі відпрацьованих газів. В цьому випадку для установки термопар необхідно передбачити канали у випускному колекторі двигуна. Визначення на двигуні тиску початку підйому голки форсунки і якості розпилу палива форсункою здійснюється за допомогою максиметра або еталонної форсунки. [6]

В даний час набувають поширення універсальні методи діагностики: віброакустичний метод, метод визначення зносу деталей двигунів за вмістом в

змашувальній оливі різних компонентів (міді, заліза, цинку і ін.), метод визначення ефективних показників роботи двигуна за часом розгону.

Для кріплення датчиків електронних віброакустичних приладів необхідно передбачити на двигуні спеціальні майданчики, що фрезеруються (для приставних датчиків або датчиків з магнітним кріпленням).

Для діагностики клапанного механізму з метою установки датчиків віброакустичних приладів необхідно верхню площину гайки кріплення кришки клапанів робити плоскою, а не сферичною, щоб можна було встановлювати датчик з магнітним кріпленням або робити різбовий отвір М5 для кріплення

датчика. При визначенні частоти обертання ротора оливної центрифуги безконтактним способом (за допомогою електронних приладів) формування імпульсів може бути здійснено різними способами.

При цьому в ковпаку ротора потрібно передбачити отвір для встановлення втулки з внутрішнім різьбленням під кріплення датчика.

Для установки датчика частоти обертання ротора турбокомпресора необхідно передбачити різбовий отвір в його патрубку виведення.

Слід відмітити, що всі вбудовані елементи для відбору діагностичних параметрів повинні бути уніфіковані. Тракторні двигуни, що знаходяться в експлуатації, мають недостатню пристосованість до діагностування і прогнозуванню ресурсу.

Тому в процесі ремонту двигунів і на основі можливих технологічних операцій слід підвищити їх пристосованість до діагностики.

## 2.8. Режими двигуна внутрішнього згоряння при діагностиці

Щодо двигуна, то можна виділити наступні основні види режимів при діагностиці. До першого виду відноситься режим функціональної діагностики, здійснюваної на працюючому двигуні і за наявності робочого циклу у всіх циліндрах. Такі умови мають місце при експлуатації на гальмівному стенді, на стенді з біговими барабанами, при тягових випробуваннях трактора і ін. Безпосередньо в умовах експлуатації контроль за роботою двигуна здійснюється

за допомогою постійно встановлених приладів, індикаторів (наприклад, індикатори стану системи подачі повітря і ін.), а також можуть бути використані тимчасово встановлені прилади. Найбільший інтерес представляють стендові режими, які дозволяють провести діагностику двигуна і його агрегатів по безлічі параметрів (потужності і паливні показники, стан паливної апаратури, стан системи подачі повітря, стан окремих вузлів і механізмів і ін.).

До другого виду відноситься режим тестової діагностики, здійснюваної подачею тестових дій на непрацюючому двигуні. Це будуть режими прокручування від стороннього джерела, режими періодичних пневматичних дій

з метою переміщення в межах зазору деталей кривошипно-шатунного механізму в стаціонарному стані, подача в циліндри повітря постійного тиску при рухомих деталях. Основні переваги прокручування полягають в тому, що при порівняно невисокій частоті обертання (в межах 50—300 об/хв) можна підібрати умови для діагностики всіх основних механізмів з мінімальними перешкодами. Цей режим

відкриває найбільші можливості для віброакустичної діагностики групи сполучень (при використуванні фазового і частотного виділення сигналу, а також інших методів підвищення надійності діагнозу) з встановленням датчика в одному положенні. Він дозволяє суттєво індивідуалізувати умови перевірки

даного механізму. Наприклад, при перевірці сполучення поршень - гільза в циліндрі для отримання достатнього ударного імпульсу встановлюється нормований тиск кінця стиснення, а решта циліндрів з метою зменшення перешкод декомпресовані. Всі відзначені вище умови забезпечують високу точність прогнозу. [10, 11,12]

На основі режиму прокручування на стенді з біговими барабанами (або з підведеними провідними колесами) можна здійснити комплексну віброакустичну діагностику всього трактора в цілому (двигун, передачі і ін.), забезпечуючи достатньо високу точність прогнозування залишкового ресурсу

спряжень. Разом з тим необхідність застосування засобів прокручування слід віднести до недоліків методу. Вельми високою перешкодостійкістю відрізняється режим періодичних пневматичних дій на деталі кривошипно-



штатного механізму, але він потребує складного устаткування обмеженого застосування.

Розглянуті режими дозволяють визначити діагностичний параметр по безлічі його випадкових значень з відповідним усереднюванням, що є їх позитивною стороною. Цієї властивості позбавлений спосіб подачі повітря певного тиску в циліндр при нерухомих деталях, що зайняли випадкове положення (взаємне розташування стиків поршневих кілець, попадання твердих частинок під кільце, ступінь контакту кілець з гільзою і ін.). Загальним недоліком режимів тестової діагностики є неможливість перевірки основних показників роботи двигуна.

Третій вид - змішаний режим діагностування, в якому частина циліндрів знаходиться в робочому стані, а частина їх з роботи вимкнена. При цьому проводиться діагностика як працюючих (потужність, показники паливної економічності, прорив газів, стан зазорів і ін.), так і вимкнених циліндрів. Виключення частини циліндрів дозволяє навантажити працюючі циліндри і диференційовано оцінити стан окремих циліндрів, понизити рівень перешкод з боку неперевірених циліндрів, збільшити об'єм діагностичної інформації. На основі виключення циліндрів формуються безгальмівні парціальні і диференціальні методи перевірки двигуна. Особливе місце при діагностиці займають невстановлені режими — розгін і пробіг, які дозволяють здійснити як умови навантаження для працюючих циліндрів, так і інерційне прокручування.

## 2.9. Засоби технічної діагностики мобільної сільськогосподарської техніки

Сучасні вимоги до служб технічного сервісу роблять неможливим ефективно проведення обслуговування без знання технічного стану. Це приводить до створення груп, бюро технічної діагностики, навчання фахівців, придбання приладів діагностики. З даних позицій прилад діагностики, освоєний фахівцями групи діагностики, повинен відповідати наступним вимогам:

багатофункціональність і реєстрація декількох параметрів;

простота використання і портативність;

накопичення даних - результатів вимірювань;

інформативність індикаторного екрану;

програми експертно-інформаційного характеру: вбудовані і зовнішні

(комп'ютерні),

спеціалізовані вбудовані програми.

Багатофункціональність полягає в можливості контролю основних

параметрів стану механічних систем одним приладом, наприклад, стенд

віброакустичної діагностики «Дельфін» - 1М» (ННТІ НАУУ, ЗАТ "Циклон",

Україна), дозволяє проводити аналіз коливань в тимчасовій і частотній областях

рівня ударних імпульсів і частоти обертання. Можливість реєстрації декількох

параметрів дозволяє - контролювати середньоквадратичне і пікове значення

параметрів вібрації. Накопичення даних, статистичної інформації для

відстежування зміни стану механічних систем в часі, виконується як за

допомогою вбудованих засобів, так і за допомогою зовнішніх - програмного

забезпечення встановленого на комп'ютері. Формування, ведення, зберігання,

обробка і аналіз діагностичної інформації повинне здійснюватися із

застосуванням комп'ютерної техніки, для чого засоби діагностики повинні мати

нагоду сумісної з ними роботи. [14, 15]

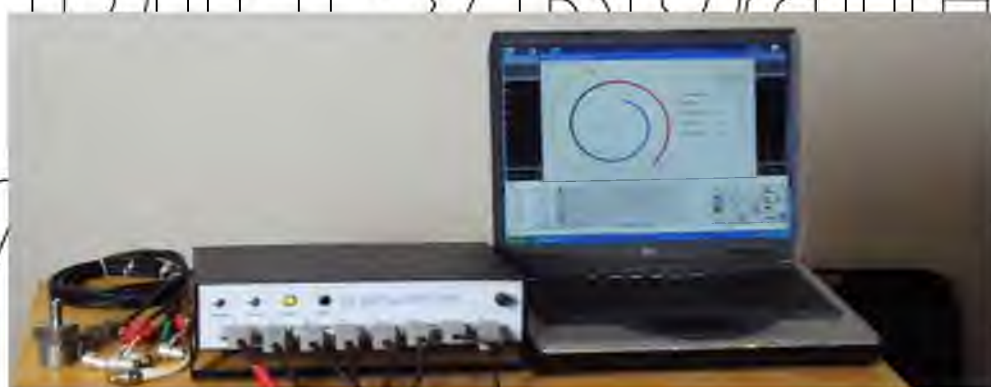


Рис. 2.5. Стенд віброакустичної діагностики «Дельфін»

Використання засобів діагностики, що відповідають вище приведеним вимогам, дозволить розвинути отримані навички, отримати додаткові можливості

при діагностиці, розширити перелік устаткування і виконуваних робіт, що діагностується, визначити перелік необхідних характеристик і вимог до приладів більш високого рівня

При виборі засобів діагностики, виникає друга сторона питання - пов'язана з параметрами устаткування, що діагностується.

Якщо діагностується однотипне устаткування тривалого режиму роботи з невеликими відхиленнями по конструкції, частоті обертання, масі, габаритам і умовам експлуатації перевага слідє віддати системам поглибленої діагностики на основі багатоканальності і використання експертних систем - стаціонарні або стендові системи. Цій вимозі повною мірою відповідають такі аналізатори вібращі, як "Дельфін - 1М" (ННТ НАУУ, ЗАТ "Циклон", Україна), "ТОПАЗ" "КВАРЦ" ТОВ "Діамех", Росія), мають нагоду роботи з кількістю каналів від 1 до 16 (із застосуванням додаткових засобів), див. рис. 2.5. і 2.6.

Різноманітність конструкцій, параметрів обслуговування і експлуатації, устаткування працюючи в повторно-короткочасному режимі, вимагає більшої мірою підготовки кваліфікованого персоналу, що володіє основами: тимчасового і спектрального аналізу форм механічних коливань і електричних сигналів, взаємодоповнюючих методів діагностики. Універсальність полягає в можливості використання приладу як самостійно, так і в комплексі з ін. засобами діагностики (стаціонарними, стендовими). Модульний принцип побудови - це можливість розширення області застосування приладу шляхом оновлення програмного забезпечення і підключення нових спеціалізованих датчиків.



Рис. 2.6. Аналізатори вібрації, зліва направо: "КВАРЦ" "ТОПАЗ"

Відповідні вимоги до апаратури:

багатофункціональність і ресетрація декількох параметрів,



➤ універсальність і модульний принцип побудови;  
 ➤ простота використання і портативність;  
 ➤ широкі можливості обробки і аналізу сигналу;  
 ➤ графічні засоби відображення інформації;  
 ➤ накопичення даних - результатів вимірювання;  
 ➤ використання адаптивних і налаштовуються автоматичних (експертних) систем діагностики: вбудованих і зовнішніх;  
 ➤ спеціалізовані програми внутрішньоприладової діагностики і балансування.

Широкі можливості обробки і аналізу сигналу - ця наявність засобів математичної обробки даних, які дозволяють представляти результати вимірювань в зручному для аналізу вигляді, наприклад представлення сигналу в тимчасовій області з подальшим переходом в частотну область шляхом застосування методів перетворення Фур'є. Графічні засоби відображення результатів вимірювань - цю наявність індикаторного екрану, що дозволяє проглядати графіки сигналів в тимчасовій і частотній областях. При виборі засобів діагностики також необхідно враховувати передбачувані умови експлуатації: заповненість, вологість, низькі температури, вибухонебезпека навколишнього середовища.



Рис. 2.7. Аналізатор вібрації, зліва направо: "АГ АТ", "СПЕКТР-07", "СД-12М"

В табл. 2.2. приведені основні технічні характеристики аналізаторів вібрації розробників країн СНД.



Рис. 2.8. Аналізатори вібрації, зліва направо: "Корсар++", "Диана-С", "Диана-2М"; "Диана-8"

Частотний діапазон для більшості задач віброметрії потрібен в межах від 2,5 Гц до 10...70 кГц. Вимога до амплітудно-частотної характеристики первинних датчиків - висока лінійність, щоб нелінійні спотворення від сильних складових сигналу не заважали аналізувати слабкі складові. Роздільна здатність оцінюється кількістю ліній (смуг) в спектрі сигналу. Стандартний ряд: 100, 200, 400, 800, 1600, 3200, 6400. Перевага віддається 400, 800, 1600 ліній.

Позначення, прийняті в таблиці: "п" - портативний корпус; "н" - виконання аналізатора на базі персонального комп'ютера (ноутбука); "г" - графічний індикатор; "т" - текстовий індикатор; "м" - монітор.



Рис. 2.9. Аналізатори вібрації, зліва направо: "СК-2300", "СМ-3004", "АДІ-3101"

Дані характеристики повинні визначатися типом устаткування і його режимами експлуатації. Тільки на основі власного досвіду діагностики устаткування в тій або іншій галузі можна точно визначати дані вимоги.

Таблиця 2.2

## Характеристики аналізаторів вібрації

Аналізатор вібрації	Можливість реєстрації (кількість відведених каналів)			Частотний діапазон в режимі вимірювання спектра, кГц		Макс. кількість ліній в спектрі	Конс. пр. випр.	Тип індикатора	Вага, кг
	Вібр.	Шум	Удар. імп.	Час. ерт.	Електр. сиг.				
КВАРМ	1(16)			1	1	3...40 000	1600	п г	2,1
ТОПАЗ	1(16)			1	1	3...40 000	1600	п г	1,8
АГАТ	2			1		5...10 000	800	п г	1,2
СК-2300	2			1	8	0,5...20 000	3200	п г	2
СД-12М	1	1		1	1	0,5...25 600	1600	п г	1,7
СПЕКТР-07	1			1	1	0,125...25 600	1600	п г	1,2
Корсар++	1					10...1 000	400	п г	0,8
Диана-С	1			1		5...5 000	1600	п г	0,4
Диана-2М	2			1		3...5 000	3200	п г	1,1
Диана-8	8			1		5...5 000	6400	п г	3,0
Атлант-8М	8			1	8	5...5 000	3200	н м	10,0
АДП-3101	2			1	2	1...24 000	6400	п г	1,6
ДСА-2001	2			1	2	10...16 000	2500	н м	5,5
СМ-3001	3			1	3	4...20 000	1600	п г	1,0
ПР-200А	1			1	1	0,05...20 000	1600	п г	1,6
Дельфін-1М	4	2	2	1	8	2...12 600	1600	п г	1,4





Рис. 2.10. Аналізатор вібрації "TP-200A"



Рис. 2.11. Аналізатори вібрації на базі ноутбука, зліва направо:

"ДСА-2001", "Атлант-8М"

На основі порівняно аналізу технічних характеристик аналізаторів вібрації, приведених в табл. 2.2. з урахуванням вище певних критеріїв вибору можна зробити наступні висновки:

1. Приладом первинної підготовки є "СК-2300", "СД-12М", "АДП-3101", "TP-200A", "795М-034" і "СПЕКТР-07".
2. Експертно-дослідницькі системи: "ТОПАЗ", "Атлант-8М", "СМ-3001", "ДСА-2001". Системи, виконані на базі персонального комп'ютера, навіть ноутбука, важко назвати портативними. Перевершуючи всю решту приладів по кількості каналів, можливостям обробки і аналізу діагностичної інформації, дані системи є стендовими (напівстаціонарними). Область застосування даних систем

виправдана устаткуванням, що діагностується, витратами викликаними зупинкою якого, перевищує вартість даних систем у багатьох разів.

3. Вибір даних аналізаторів може бути виправданий великим досвідом діагностики конкретного устаткування, на основі якого сформульовані чітка вимоги до функціональних можливостей і метрологічних характеристик. В цьому випадку, питання вибору пов'язані з "унікальними методами" обробки результатів вимірювання, в основному спектрального аналізу і фільтрації, необхідність в яких важко пояснювана.

## 2.10. Напрями розробки систем діагностики

Сучасний стан технічного обслуговування мобільної сільгосптехніки вважається незадовільним.

Не дивлячись на систему планово-запобіжних заходів, що діють, відмови бувають до закінчення гарантійного терміну, а в капітальний ремонт можуть спрямувати і сповна працездатні вироби. Припинення експлуатації нормально функціонуючого пристрою означає прямі збитки, а необгрунтоване втручання може з'явитися причиною штучного неумисного введення неполадок, яких до цього не було. Вигоди від продовження експлуатації пристрою з невідомим фактичним ресурсом можуть не покрити витрати на усунення наслідків можливої аварії.

Ухвалення рішень про об'єм і терміни майбутніх ремонтних робіт часто залежить від суб'єктивної думки, а то і простої зацікавленості певних осіб або організацій. Усунення наслідків без розгляду причин виникнення аномалій негативно позначається на експлуатаційних витратах і не дає гарантій благополуччя навіть на найближчу перспективу. Тому слід уважніше розглянути причини такого стану справ.

Науковий підхід до визначення надійності і обслуговування техніки тривалий час базувався на теорії вірогідності. Безвідмовність, довговічність, напрацювання на відмову зазвичай розраховувалися шляхом математичної обробки статистичних даних про відмови. Завдання часто зводилося до вибору



теоретичного закону розподілу і розрахунку його параметрів. Але статистично бездоганні методи, що давали відносно правильні результати для деякої сукупності виробів, виявлялися безсилими для конкретного екземпляра.

Висока надійність машин забезпечувалася перш за все шляхом підвищення надійності складових вузлів і агрегатів. Але ця дорога економічно мало приваблива, оскільки пов'язана статеchno залежністю з вартістю. Де це можливо, застосовувалося дублювання, резервування, переведення на полегшений режим і інші методи, що подовжують «життєвий цикл» машини. А як бути з «людським чинником», вплив якого не піддається статистиці взагалі?

Так вже в останній чверті ХХ століття стало зрозуміло, що традиційні способи розрахунку і забезпечення надійності складних технічних об'єктів, до яких безумовно відносяться сучасні комбайни, трактори і автомобілі, вичерпали себе.

Пошук нових шляхів привів до необхідності ретельнішого вивчення процесів фізичної деградації технічних пристроїв. Перш за все фізикам стало ясно, що тривалість «життєвого циклу» будь-якого технічного виробу визначають дефекти. Саме темп розвитку прихованих дефектів визначає темп витрачання деякого початкового ресурсу, закладеного якістю проектування, конструювання, виготовлення і експлуатації.

Перспективним напрямом визнаний моніторинг з діагностикою. Це відносно новий науково-технічний напрям зобов'язаний своєю появою, перш за все, досягненням в області комп'ютерної техніки. Можливість оперативної обробки великих масивів вимірювальних даних дозволила організувати супроводжуючий контроль технічного стану на етапі експлуатації. Постійна обізнаність про поточне «здоров'я» функціонуючого пристрою, раннє виявлення і систематичне спостереження за розвитком неполадок дозволяють виявити тенденції їх розвитку і тим самим виключити чинник раптовості виникнення відмов. Так виграється час для вживання попереджуючих заходів по ранньому виявленню джерел дефектів, по перекриттю каналів їх проникнення в конструкцію, по уповільненню темпів їх розвитку, по нейтралізації негативних наслідків відмов. Стає можливим перехід від традиційного планово-запобіжного

методу обслуговування техніки до обслуговування по фактичному стану. Виключення не виправданого втручання, але оперативне реагування на насторожуючу інформацію – це сучасна дорога експлуатації техніки, а діагностика виступає не лише як засіб підвищення надійності техніки, але і як дорога економії часу і засобів на її обслуговуванні.

Мобільна сільгосптехніка стає все більш складною і всілякою. Значна доля відмов доводиться на двигуни, а діагностування їх стану стає все більш актуальним і важким. І це не дивлячись на те, що двигуни новітніх сільгоспмашин, що перш за все імпортуються, оснащені системою самодіагностики. На жаль, самодіагностика у них охоплює практично лише датчики і виконавські органи рухової автоматики.

А як бути неспеціалізованим обслуговуючим і ремонтним підприємствам, що має справу з дією природних «вікових» дефектів (збільшені зазори, пошкоджені контактуючі поверхні, форми і розміри прохідних перетинів трубопроводів змінені унаслідок засмічення або газотермічної ерозії і так далі)? Як виявити механічні пошкодження типу стирання кулачків реزندільного утворення нагари на зовнішній стороні клапана, забруднення інжектора, пошкодження каталізатора або інших дефектів, що повільно розвиваються?

Список тих, що доки не підлягають діагностуванню дефектів навіть новітніх машин можна продовжити.

Для формування вимог до ефективної системи діагностики слід перш за все розглянути двигун як об'єкт діагностики.

Але як би не відрізнялися двигуни за віком і зовнішньому вигляду, у них один і той же принцип дії. Багато конструктивних елементів, систем, вузлів мають функціонально однакове призначення.

Дефекти проявляються у вигляді сторонніх шумів, ударів або інших аномалій і зазвичай пов'язані з принципом дії двигуна і фазою робочого циклу.

Характерна висока повторюваність вібрацій по фазі при значній розбіжності амплітуд в кожній фазі. Зміна величин і напрямів силової дії за наявності зазорів

між зв'язаними деталями призводить до ударів, які викликають вібрацію деталей і двигуна в цілому.

Конструктивні, масштабні, дизайнерські і «вікові» відмінності, не мають принципового значення і практично неістотні для діагностики. Природно, знадобиться певна адаптація технології і інструментального оснащення для роботи з конкретними об'єктами. Але суть виконуваних діагностичних операцій будуть одні і ті ж.

Технології діагностування дизельного і бензинового двигунів практично не відрізняються. А це вказує на принципову можливість і доцільність розробки єдиної універсальної методології (технології і інструментального оснащення) діагностування конструкцій і функціональних систем різних двигунів.

За наявності синхронних даних по вібрації, гідроакустиці, тискам і електричній напрузі, діагностування схожих конструкцій і функціональних систем за універсальною методологією можливо. Дана робота націлена на привернення уваги контролюючих, обслуговуючих і ремонтних підрозділів до можливості підвищення ефективності роботи за рахунок зміцнення діагностичного напрямку.

Діагноз про явно незадовільну роботу технічного пристрою за основними виробничими показниками виявляється легко, але завжди з недопустимим запізнюванням.

Нормування параметрів робочих процесів (електрична напруга, струми, тиски, витрати, температури і так далі) традиційно проводиться для оцінки стану машин. Цей метод заснований на порівнянні вимірних значень з їх паспортними або еталонними значеннями в певній фазі робочого циклу механізму (діагностика по допусках). Аналіз причин виявлених відхилень забезпечує велику чутливість до неполадок. Ці відхилення часто обумовлені некондиційним поступленнями потраплянням ззовні (запилене повітря, домішки в паливі, невідповідне мастило і так далі).

Але по параметрах робочих процесів неможлива рання діагностика дефектів, що розвиваються або визначення терміну, протягом якого буде

зберігатися здатність конструкції підтримувати що діють в ній робочі процеси. Не існує в них яких-небудь ознак (передвісників, симптомів, показників) небезпеки, що насувається. Проте простота реалізації сприяла широкому поширенню такої діагностики перш за все в закордонному сільськогосподарському машинобудуванні.

Негативний вплив робочих процесів на конструкцію розвивається повільно і обмежено. Зворотній вплив стану конструкції на робочі процеси – швидке і найбезпосередніше. Проте помітним воно стає зазвичай значно пізніше – лише з передкритичній мірі розвитку. Тому особливу діагностичну цінність

представляють випадки, так або інакше що демаскують розвиток прихованих дефектів. Перш за все, – це фізичні і хімічні явища, синхронно супроводжуючі процеси дефектоутворення, а також наслідки їх дії.

З механіки руйнувань відомо, що пошкодження будь-якої матеріальної конструкції починається на кристалічному і молекулярному рівнях, а розвивається за «принципом доміно» у вигляді ланцюжків послідовних пошкоджень елементів конструкції і функціональних систем, що розгалужуються. Причому байдуже, чи діє механічне або теплове навантаження, має місце ерозійний або корозійний (хімічний) процес. У зоні ураження на поверхні або усередині матеріалу змінюється щільність, магнітні, оптичні, електричні властивості і так далі. Але всі ці зміни локалізуються в малій області простору і тому важко спостережувані. Вказаного недоліку позбавлені процеси, пов'язані з перенесенням енергії або винесенням речовини із зони ураження – дефекту.

Останнім часом все більшу роль грає непряма діагностика конструкції, що базується на аналізі вище перелічених попутних фізичних явищ, обумовлених і синхронно супроводжуючих робочі процеси і процеси деградації конструкції.

Мікроскопічне поверхневе або об'ємне пошкодження механічно напруженої конструкції виявляється, зокрема, у вигляді генерації ультразвукових деформаційних хвиль. Схожа по фізичній основі спектральна картина спостерігається при короткочасних ударних діях, при збільшенні зазорів або при

поганому змащуванні деталей взаємодіючих кінематичних пар. Частина ультразвукової хвильової енергії, що виділяється, мала в порівнянні з енергією шуму працюючого механізму. Проте послані дефектом сигнали можуть бути зареєстровані спеціальною апаратурою, оскільки звичайні технологічні шуми концентруються далеко у відносно низькочастотній області енергетичного спектру.

Робочі процеси, що проходять в двигунах, є потужним джерелом акустичних випромінювань, вібрацій і шумів. Існують два підходи до проблеми вібрацій. З одного боку – це неминуче побічне явище нормальне функціонування механізму. На збудження вібрацій витрачається частина корисної енергії, що виявляється як джерело додаткових динамічних навантажень на конструкцію, що діє як дестабілізує та провокуючий чинник. Боротьба з вібраціями – важливе направлення підвищення якості багатьох видів продукції. Після усунення дефекту вібрації зазвичай істотно послаблюються. Це вказує як на коректність діагнозу, так і на достатність виконаних робіт.

Але з іншого боку, вібрації – носії унікальної інформації. Для фахівця вібрації – такий же безперечний і об'єктивний показник, як для лікаря биття серця пацієнта. З ними справедливо зв'язують технічний стан механізмів. Структури вібрацій часто вказують на своє походження і тим самим демаскують дефект. У цих своєрідних кардіограмах міститься інформація про якнайтонші нюанси поведінки конструкції і робочих процесів, що діють в ній. По швидкості реакції на будь-які зміни технічного стану вібраціям немає рівних серед інших супроводжуючих фізичних явищ.

Діагностичні властивості вібрацій відмітили давно. Стан механізму визначали «на слух». Вимірювальним пристроєм служила палиця (стетоскоп, фонендоскоп), одним кінцем що упирається в механізм, а іншим кінцем що прикладається до вуха. Аналізуючим пристроєм були вухо і мозок людини.

Обмеженість такої органолептичної діагностики очевидна. Як відомо з теорії руйнувань, ранні стадії розвитку дефектів конструкції виявляються спочатку в недоступній для сприйняття в ультразвуковій області віброакустичних

випромінювання. І лише при розвитку дефекту до макроскопічних розмірів, частоти випромінювання знижуються до значень, що сприймаються людським вухом. І діагностика починається лише на цьому етапі. Вже, напевно, з недопустимим запізнюванням.

## 2.11. Основні складові приладу “ДЕЛЬФІН-1М” та його призначення.

До складу приладу входить комплект віброакустичних датчиків, вимірники тиску і акустичної емісії, електричних адаптерів, а також експертна комп'ютерна програма.

В функціональних системах про наявність дефектів судять по відповідності замірених і нормативних параметрів. Основна увага приділена методу візуального виявлення дефектів шляхом порівняння результатів спостережень з прецедентними даними, представленими безпосередніми показниками датчиків або результатами їх математичної обробки.

Можливість виводу вимірювального сигналу у вольтгах на екран монітора будь-якого сигналу, що діє на трактор, або, у тому числі і імпульсів самодіагностики, робить однотипними операції діагностування самих різних тракторних двигунів.

Економічний ефект досягається за рахунок скорочення втрат часу на пошук дефектів методом розбирання агрегату.

Основні складові приладу:

- комплект датчиків та адаптерів;
- блок електроніки;
- ноутбук.

Прилад містить 8 каналів (Рис. 2.12.). Рекомендується використовувати їх таким чином:

- конструкційна акустика (що огинає в смугі частот 25 - 40 кгц) канали 1 і 2;
- -вібрації (смуга частот 5 - 10000 Гц) канал 3;
- -вібрації (смуга частот 5 - 180 Гц) канал 4;



- -електрична напруга (0 - 32 В) канал 5;
- -тиск (0 - 250 аті) канал 6;
- -сигнал початку відліку канал 7;
- -електрична напруга (0 - 30000 У) канал 8.

Сигнали з 8 датчиків вводяться в блок електроніки, що забезпечує комутацію, узгодження, попередню фільтрацію і введення вимірювальних даних в комп'ютер за допомогою АЦП (вхідна напруга  $\pm 10$  вольт, розрядів - 12). Частота кожного каналу - 70000 разів в секунду. Датчики конструкційної акустики (ультразвуковий) п'єзоелектричні - серії АВС з власними частотами і міцністю, що забезпечують необхідні діапазони вимірювань. Знімання електричного сигналу здійснюється шляхом притиску датчиків до відповідних точок конструкції.



Рис. 2.12. Блок електроніки та комплект датчиків.

Ультразвукові датчики застосовуються для знаходження геометричних розташувань дефектів конструкції. Амплітудно-частотні датчики високочастотних вібрацій слугують для знаходження «дзвінких деталей».

Тимчасові координатні і фазо-циклові алгоритми для обробки сигналів різноманітних фізичних величин дозволяють виявляти відомості з вимірювальних даних і, цим самим, сприяти підвищенню надійності діагнозів.

Датчики акустики конструкції і вібрацій - п'єзоелектричні з чутливими елементами серії АВС із власними частотами та міцністю, що забезпечує необхідні амплітудні і частотні діапазони вимірювань.

Зняття параметрів вібрації виконується шляхом наклеювання або притискання датчиків до відповідних точок конструкції.

Діагностичні ознаки виявлені шляхом встановлення взаємнооднозначної відповідності між певними структурами вимірювальних даних і дефектами, виявленими при обстеженнях деталей після розбирання. В деяких випадках для пошуку діагностичних ознак використовувалися теоретичні уявлення або запозичення з інших галузей техніки.

Якщо в програмі розпізнавання не міститься необхідні відомості, рішення ухвалюється оператором самостійно, виходячи з фізичних міркувань, по сукупності результатів всіх вимірювань з урахуванням візуального порівняння отриманих сигналів з вмістом банку графічних ознак.

Віброакустичні датчики. Інформацію про віброакустичний стан здобувають за допомогою п'єзоелектричних датчиків табл. 2.3.

Таблиця 2.3.

Характеристики п'єзоакселерометрів

Канал	Тип	Чутливість (мв с <sup>2</sup> /м), C=2500 пф	Ємність (пф)	Росон. (кГц)	Част. Діап. (Гц) Огинаюча	Шкала (м/с <sup>2</sup> номінал „0” ступень)
1,2	ABC 117	0,05	2200	100	80000-110000	6400
3	ABC 117-04	0,25	2200	30	2-12600	16000
4	ANC 114-02	6,0	3000	4	2-200	660

По фізичній суті п'єзодатчик можна представити керамічним конденсатором, на обкладаннях якого виробляється електричний заряд.

Деформаційні хвилі краще всього спостерігати за допомогою ультразвукових датчиків. Апаратурні широкосмугові шуми вібровимірювальних каналів досягають одиниць відсотків. Паразитна поперечна чутливість п'єзодатчиків може досягати 8%. На складних технічних об'єктах амплітудна погрішність широкосмугових вібровимірювань, що реалізовується, 20% вважається за прийнятну. При вузькосмугових вимірюваннях погрішність зазвичай не перевищує 5%.



*Датчики тиску і пульсації тиску.* Тиск рідин і газів відноситься до характеристик робочих процесів. Нерегламентовані алгоритми роботи об'єкту зміни тиску викликаються неполадками.

Перетворення тиску в електричний сигнал відбувається в датчиках тиску.

Достовірність діагностування по параметрах тиску, в ще більшому ступені, чим по параметрах вібрацій, залежить від способу установки датчиків. Краше всього безпосереднє врізання в транспортну магістраль рідини або газу, оскільки будь-який перехідник вносить амплітудно-фазові спотворення до показників датчиків.

Недостатнє затягування різьблення може привести до розгерметизації з'єднання,

а надмірне затягування може змінити тарировочну характеристику датчика.

Перш за все, це відноситься до тензOMETричних і п'єзоелектричних датчиків пульсації тиску. Тому застосування м'яких прокладок обов'язкове.

При вимірюваннях компресії датчики видають занижені значення унаслідок збільшення об'єму камери згорання на величину суми об'ємів внутрішньої порожнини перехідника і датчика, а також динамічних властивостей власне датчика. Для дизельних двигунів поправка постійна і рівна 3 атм. Поправки враховані в комп'ютерних програмах обробки.

Мікрофонні датчики призначені для виявлення газів, що прориваються, в картер і оцінки рівномірності віддачі циліндрів по вихлопу. При цьому, як показує практика, по датчиках, що вставляються у вихлопний колектор, ступінь посилення більше 3 не застосовується.

Процедури, що виконуються за допомогою спеціалізованого комп'ютерного обладнання, в більшості випадків дозволяють швидко локалізувати несправності датчиків і виконавчих органів системи управління, а також деяких функціональних пристроїв. Але в силу особливостей програм діагностики, код самодіагностики може і не відповідати реальному стану датчика. Найчастіше причиною видачі коду помилки є стан електропроводки або несправність самого блоку управління. Дезінформація автоматично розпізнається тільки при грубих відхиленнях показань типу «обрив» або «коротке замикання» в ланцюзі датчика.

Відаючи належне великим досягненням практикуючої діагностики по робочих параметрах, на наш погляд, слід дивитися на проблему ширше. Ми розуміємо будь-яку відмову як останню ланку в розвивається ланцюжку причинно-наслідкових подій, що діють за «принципом доміно»: один дефект призводить до появи іншого, інший - третього і так далі. Отже, будь-який дефект демаскуючих різнобічно, тобто відображається в різних фізичних явищах, супроводжуючих процес деградації. Разом з тим, зв'язок між зароджуваними дефектами конструкції та параметрами робочих процесів дуже слабка.

Незрівнянно більш тісний зв'язок з конструктивними дефектами мають попутні супроводжуючі деградацію конструкції фізичні явища - акустична емісія матеріалу, вібрації, аеро-і гідроакустики. Але по них можлива тільки непряма діагностика, за ознаками. Непрямої діагностиці приділяють велику увагу в техніці відповідального призначення, оскільки для «механіки» вона незамінна.

Якщо двигун не в міру "пожирає" оливу, то нічого крім "механіки" діагностувати і не треба. Започаткували широке застосування і'езоакселерометрів (вібрації) для непрямого виявлення детонаційного горіння (хімпроцесс) - тільки початок.

Якою б сучасною і "просунутою" з точки зору самодіагностики не була електронна система управління двигуном, вважаємо, що з метою скорочення часу на пошук дефекту, треба мати під рукою додатково комп'ютеризований апарат з комплектом зовнішніх датчиків різних фізичних величин.

Однчасне задіяння датчиків ультразвуку, вібрацій, тиску, пульсації тиску і кутового положення колінвалу дозволяє пов'язати між собою штатні і виявити аномальні фактори

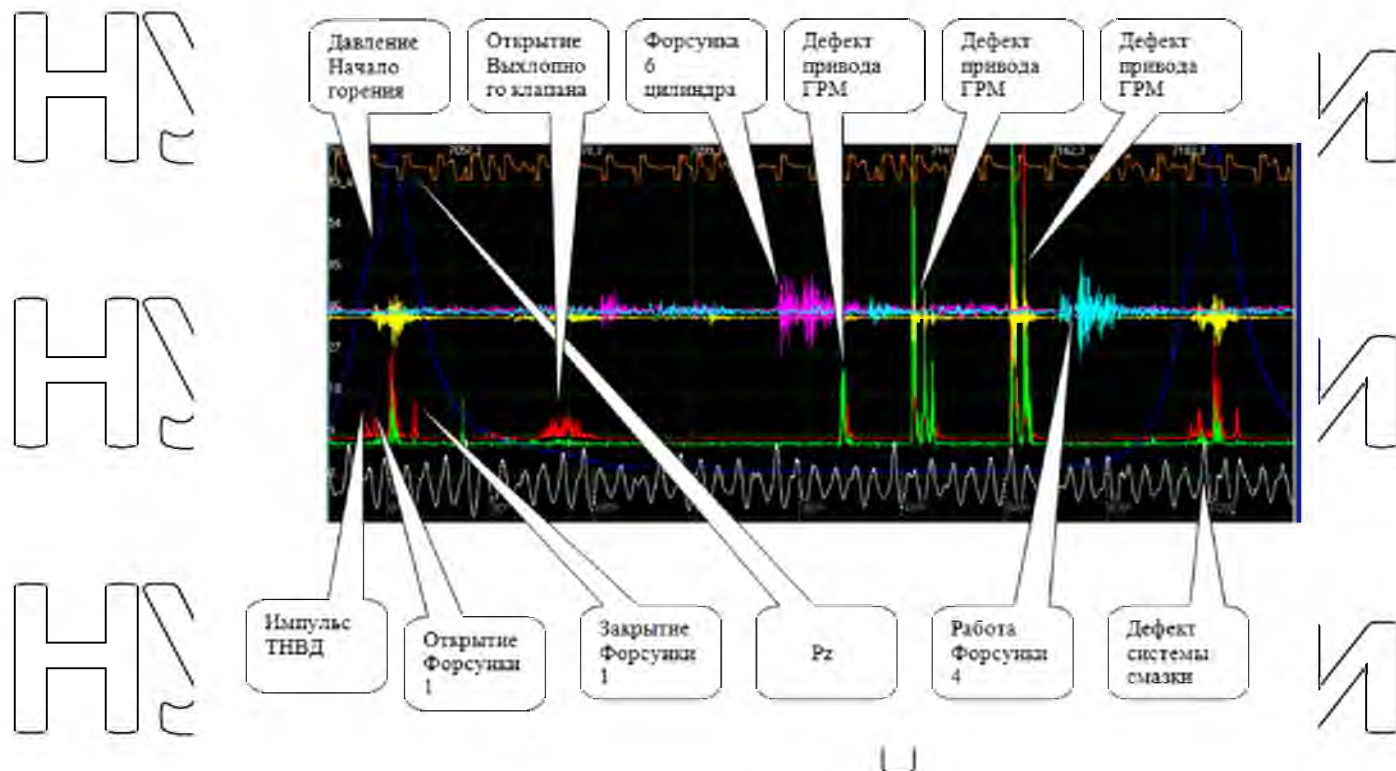


Рис. 2.13. Одновременні покази датчиків тиску, пульсації тиску, ультразвуків, вібрації і кутового положення колін валу

### Застосування діагностичного параметра для оцінки зазору в циліндрі

Шляхом контролю тиску в циліндрі і в картері, а також моменту запалювання палива можна визначити фази газорозподілу

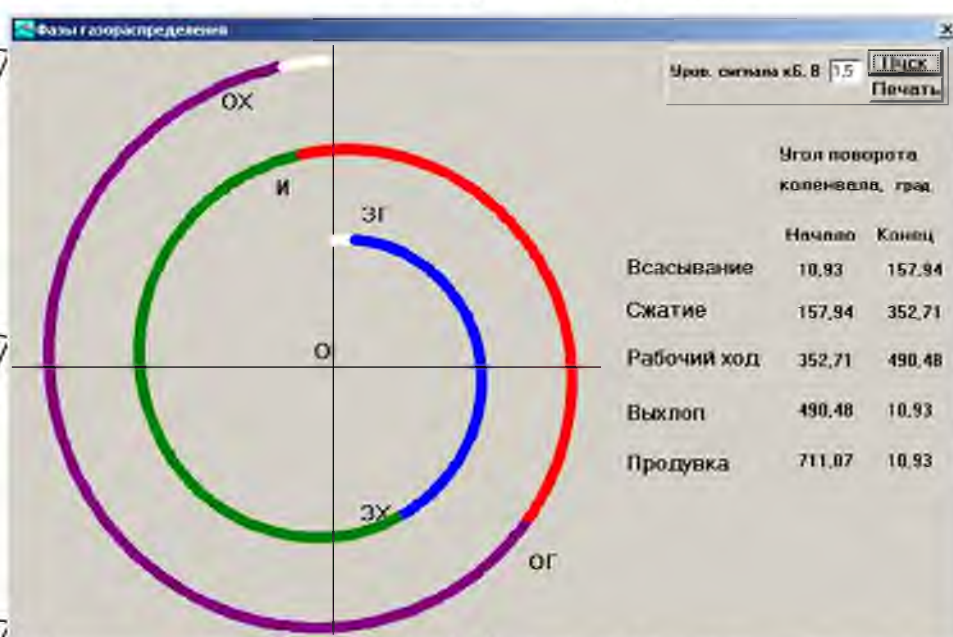


Рис. 2.14. Фази газорозподілу



За допомогою датчика тиску та імпульсів запалювання автоматично визначається кут випередження запалювання

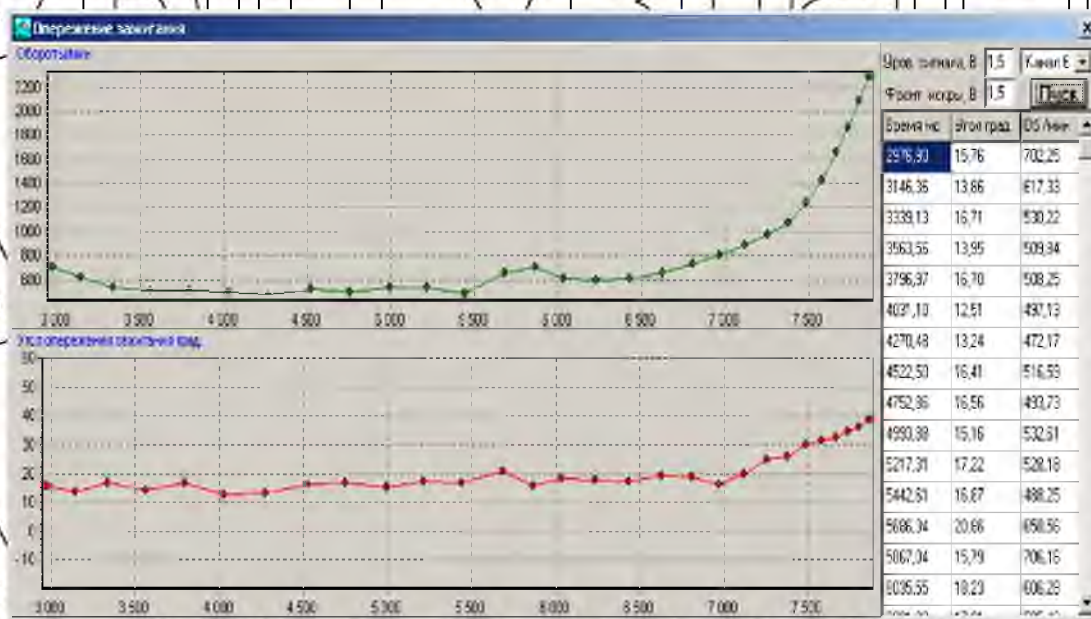


Рис. 2.15. Кут випередження запалювання

## РОЗДІЛ 3 ЕКСПЕРИМЕНТИ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 3.1. Експериментальні дослідження на прикладі двигуна Д-243

*Спектральний аналіз.* Дана програма призначена для проведення амплітудно-частотного аналізу по 8-ми каналам одночасно по методу БПФ (Швидке перетворення Фур'є). У обробку береться інтервал часу, представлений на екрані доловної форми. У тих, що підлягають обробці сигналах на один період найвищої частоти повинні доводитися не менше двох точок запису рис. 3.1

З метою попередження специфічних спотворень для високочастотних вимірювань встановлюється крок 1 або 2, для низькочастотних - 72 і більш.

Результати обробки віброприскорень шляхом інтеграції можна представити у вигляді віброшвидкостей (м/с) або вібропереміщень (мм). При цьому сигнал зазвичай піддається підсиленню.

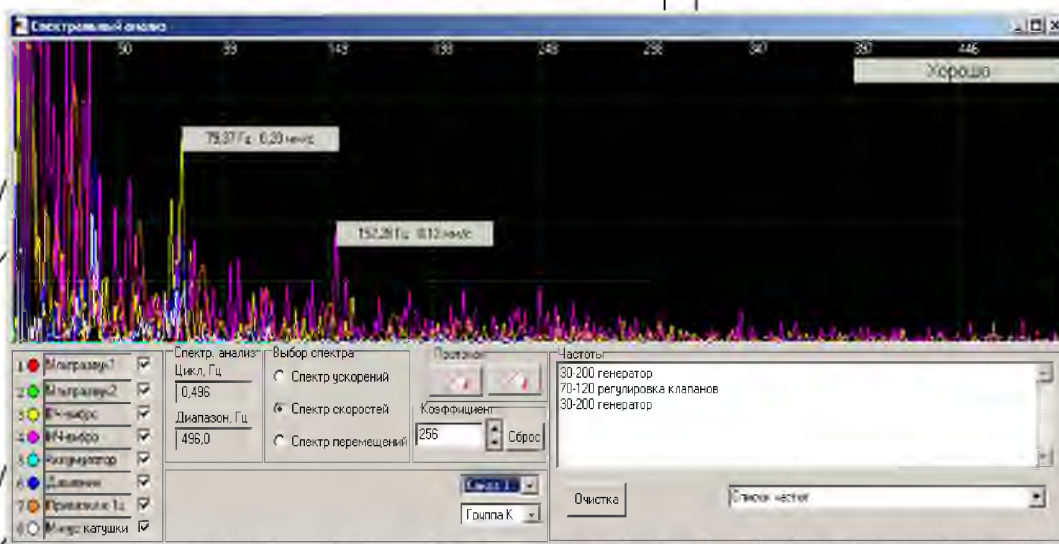


Рис. 3.1. Спектральний аналіз за спектром швидкостей.

#### Типові несправності ЦПГ:

знос, поломка, заклинювання і розбиття паза поршневого кільця, тріщини в поршні, негерметичність ущільнення різьблення або гільзи;

забруднення або забивання змащувальних пазів або отворів, знос пари поршень-циліндр; - тріщини в головці або в прокладці;

дуже великий люфт або розлад клапанного механізму; закоксування сопла, знос сопла, зміна тиску спрацювання, погіршення якості горючої суміші.



### 3.2. Дослідження параметрів двигуна Д-243.

Дослідження діагностичних параметрів циліндро-поршневої групи дизеля Д-243. Спочатку для аналізу стартера, генератора, АКБ проводимо імітацію запуску двигуна рис. 3.2.

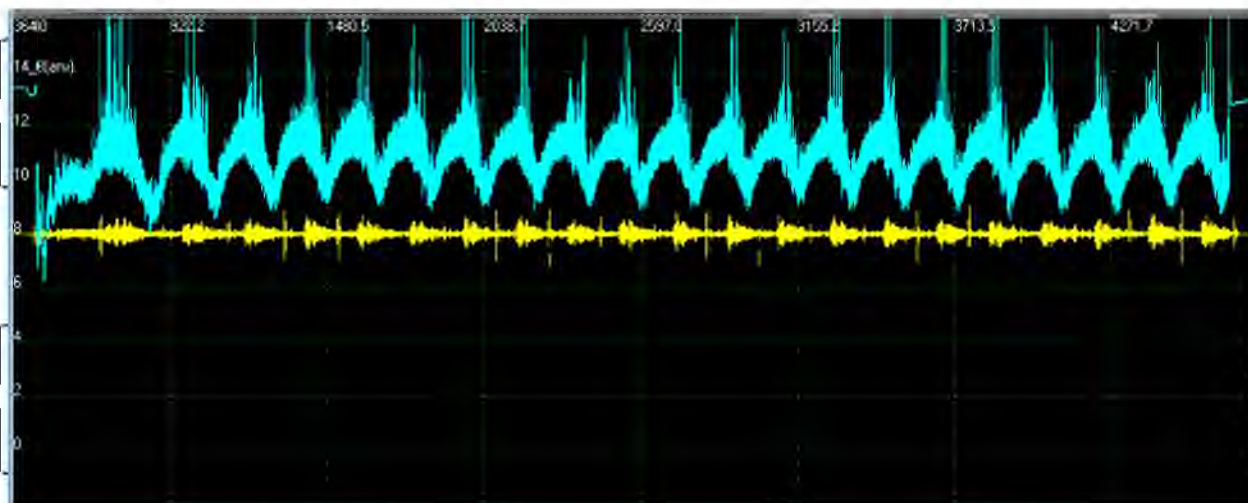


Рис. 3.2. Імітація запуску двигуна при відключеному ПНВТ.

Для визначення ступеня зносу ЦПГ, мало зняти покази. Потрібно правильно зробити підхід до вибору режимів діагностування: де ставити датчики, на яких обертах двигуна робити досліди, коли саме включитись у прослуховування двигуна, в якому стані двигун (забруднений оливою, або фарбований). Саме із оцінки даних факторів потрібно починати діагностування, бо при знятті показів завжди будуть різні результати на екрані комп'ютера рис.

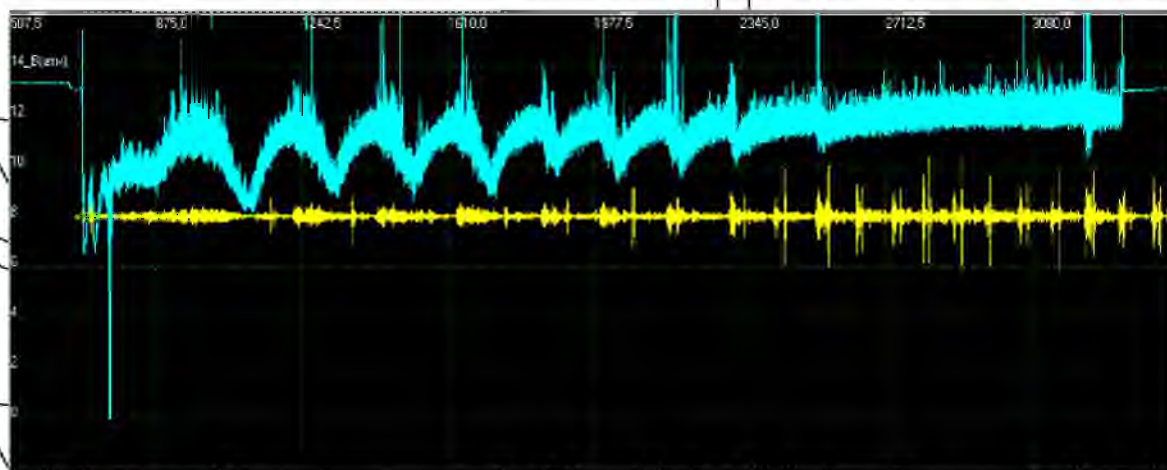


Рис. 3.3. Запуск двигуна і зняття в'дносної компресії.

Вище показані два режими роботи стартера двигуна Д-243, але все-таки вони різні – це пояснюється різним впливом людини на запуск двигуна. В першому випадку – була припинена подача палива, середні оберти – 550 об/хв (нормальні оберти при заведенні дизельних двигунів) і тому графік на всьому проміжку рівномірний. А в другому – з подачею палива (оберти з 450 зростають до 850 об/хв), де можна побачити з яким зусиллям стартер починає колінчастий вал, а потім, опір поршнів зменшується – двигун починає заводитись. Аналізуємо зняті дані: в даному випадку досліджуємо відносну компресію в циліндрах по зниженню заряду акумулятора, як бачимо знос циліндрів рівномірний (рис. 3.4); це пояснюється і тим, що пробіг у двигуна 300 мото·год.. З даних графіків можна зробити діагноз, що в дизеля ієкрить стартер (товщина лінії перевищує нормативні покази), тобто щітки, тому порада була почистити або замінити.

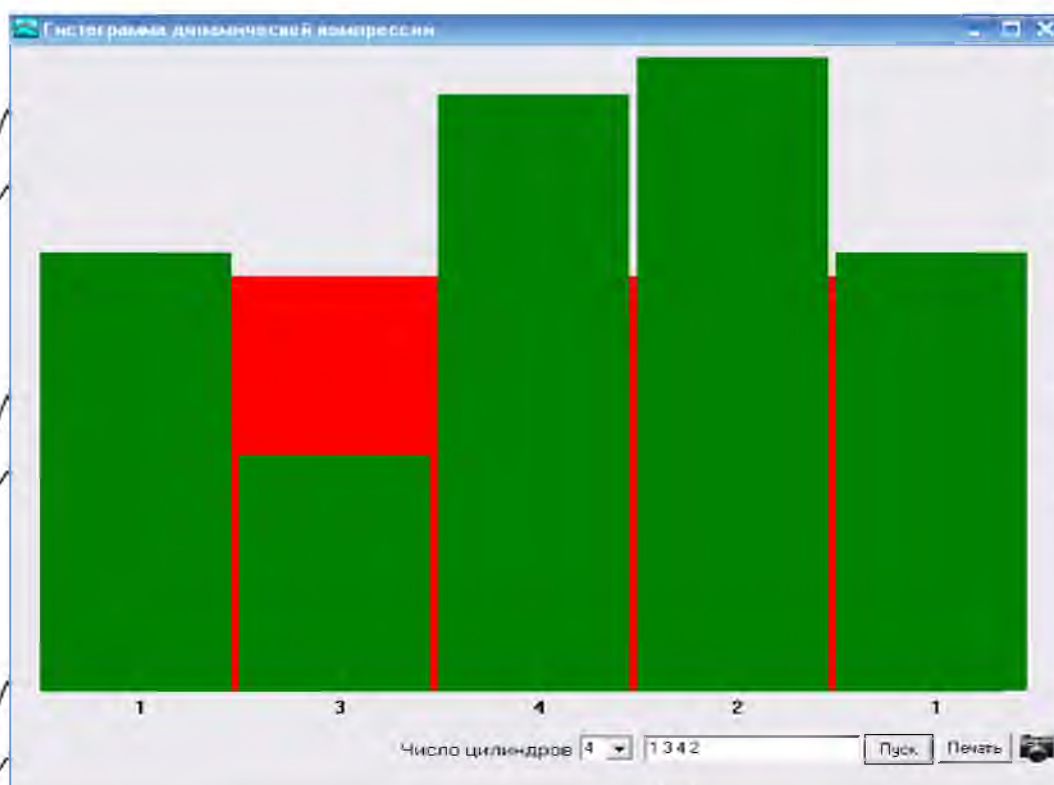


Рис. 3.4. Гістограма динамічної компресії.

Слід зауважити, що при визначенні показників відносної компресії потрібно прийняти допустимі відхилення по частоті обертання колінчастого валу. Наприклад, якщо оберти двигуна 1960 – 2040 об/хв, то визначимо відхилення



допустимих обертів наближених до 2000об/хв ( $\Delta n=2040-1960=80$ об/хв), тобто розглядаємо допуск відхилення обертів, при якому зміна компресії не відбувається. Можна сказати, що допуски на будь-який показник вимірюваної величини є середнім значенням, бо точне значення можна здобути лише в лабораторних умовах на випробувальних стендах.

На схемі показників відносної компресії рис. 3.9 даємо порівняння (планиметричне) % для ЦПГ двигуна Д-240

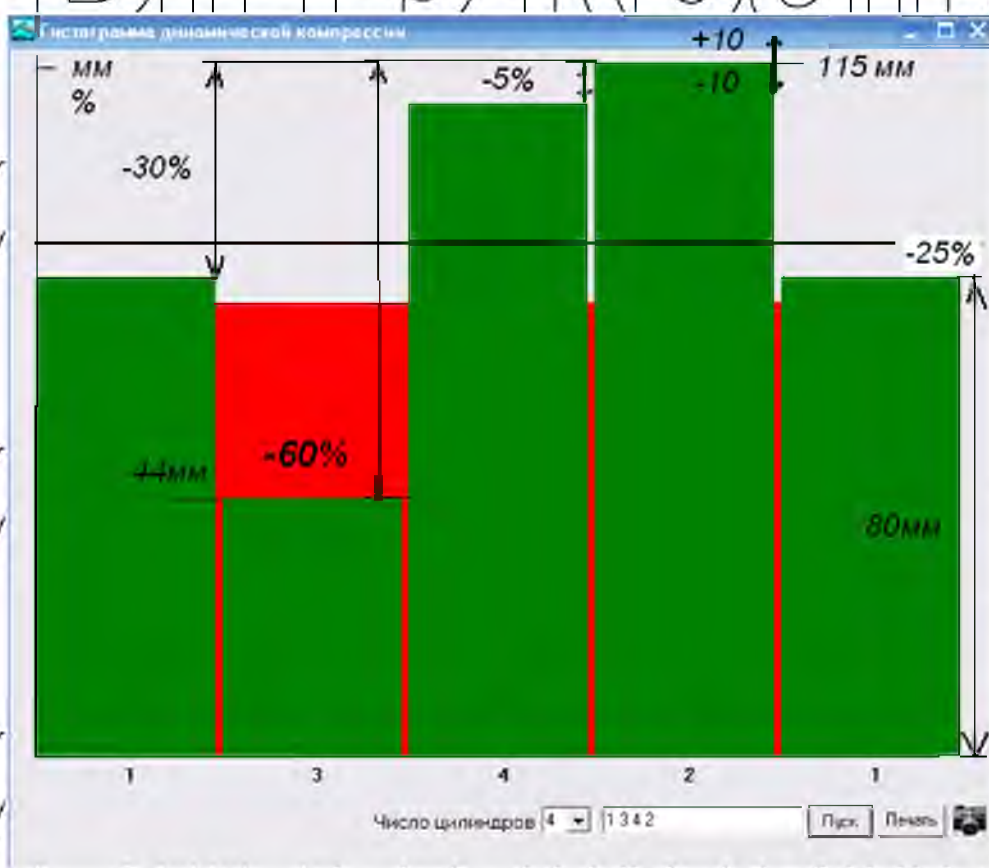


Рис. 3.5. Метод відносного визначення компресії.(по Ждановському).

Для цього приймаємо за 100% найпіковіші стовпці (по Ждановському М.С.), на даній схемі – це другий циліндр, а решту – визначаємо у % зниження і показуємо їх придатність чи непридатність.

$$S_{\text{ср}} = 0,20 - 0,24 = 20\% \sim 10$$

$\Delta = 10\%$  - це допустима нерівномірність

Якщо  $P_k = 28 \text{ кгс/см}$  номінальний тиск, критичне  $\Delta P_{\text{кр}} = 25\%$  (за Ждановським М.С.), значить вона становитиме  $P_k = 21 \text{ кгс/см}$  – це мінімум, при якому дозволяється робота двигуна.



Згідно висновку Ждановського, якщо компресія знизилась на 25% від початкового значення 28кгс/см, до 21кгс/см – двигун для подальшої роботи не придатний і потребує ремонту ЦПГ.

Рис. 3.4. і рис. 3.5. дає нам виразну картину, на якій циліндр потрібно звернути увагу – у якого найменша компресія, тобто третій циліндр – він виходить за червону зону розкидання норми зношування між ЦПГ і є проблемним. Значить потрібно в його області досліджувати систему детальніше.

Хочу зауважити, що відносна компресія не дає повної картини неполадок ЦПГ – це лише умовний показник відповідності зносу поршневої групи.

Щоб оцінити стан конструкції і електро-систем двигуна мало аналізувати загальну характеристику запуску і роботи рис. 3.6.

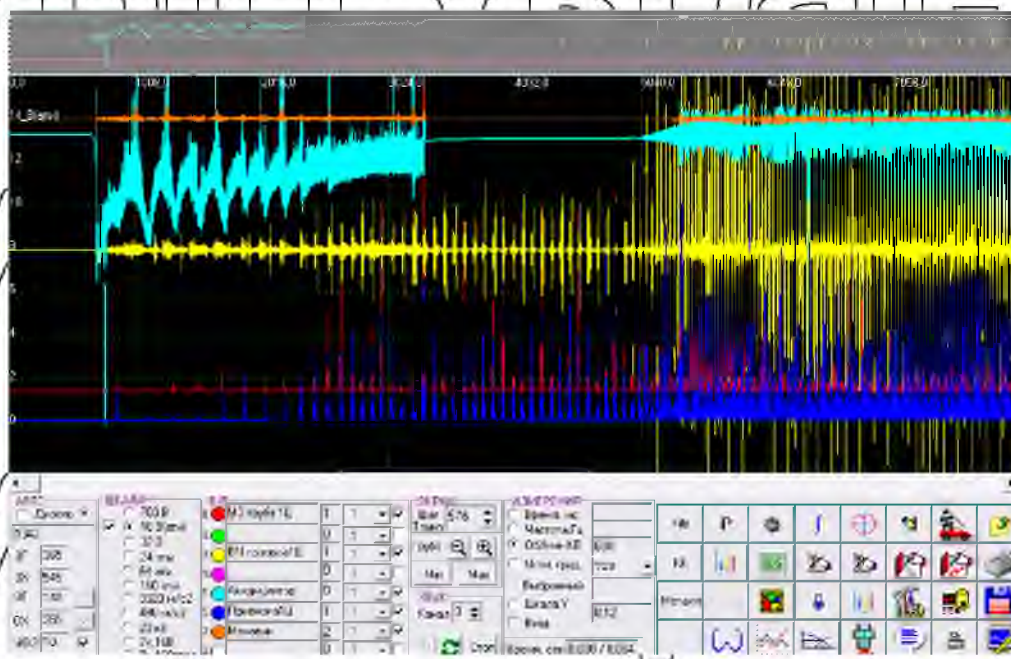


Рис. 3.6. Загальна картина запуску двигуна і початку його роботи.

Проведемо характеристику запуску двигуна. Із даних акумулятора визначаємо, що двигун запустився за 2,612с (нагадаю, норма запуску дизельних двигунів 4-6 секунд, допускається 10с.). Потім проводимо аналіз за частотними характеристиками УЗ та ВЧ датчиків рис. 3.7.

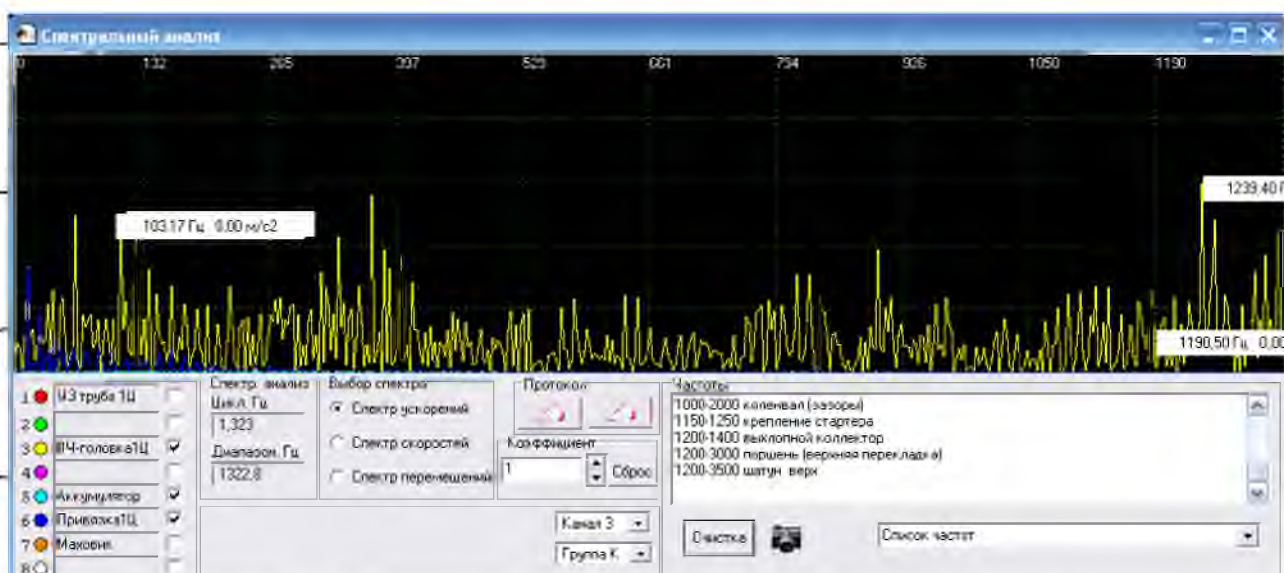


Рис. 3.7 Спектральный анализ за данными датчика ВЧ.

Датчик ВЧ 3-го канала після проведення спектрального аналізу показує найчастіше частоту 103,17 Гц на початку, що говорить про іскріння генератора, для якого характерні частоти 30-200 Гц, а також регулювання клапанів – 70-120 Гц. Далі, дивлячись на рисунок, бачимо частоти 1190,50 Гц та 1239,40 Гц, відповідні кріпленню стартера, який проглядається при відносній компресії, і як виявилось при ремонті, саме і було причиною виникнення дефектів третього циліндра, втулка коромисла була розламана, а інша вийшла із свого посадочного місця.

## РОЗДІЛ 4 ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ І ОХОРОНИ ПРАЦІ ПІД ЧАС ПРОВЕДЕННЯ ДІАГНОСТУВАННЯ

### 4.1. Основні правила техніки безпеки при діагностуванні

При проведенні діагностування обов'язково слід дотримуватися правил безпеки в роботі з технічно-складними системами, машинами, бо це об'єкти підвищеної небезпеки, що можуть загрожувати здоров'ю та життю людини. Тому, щоб не виникало нещасних випадків потрібно знати загальні положення з техніки безпеки.

Стаціонарні пункти технічного обслуговування і їх устаткування, а також пересувні діагностичні установки і технологічні операції діагностування повинні відповідати вимогам, що забезпечують безпечне виконання робіт, а також санітарії і гігієни.

Стаціонарні пункти діагностування мають бути обладнані вентиляцією, роздягальнею, душем, умивальником, забезпечені милом і рушником, а також мати аптечку першої долікарської допомоги. Виробничі ділянки забезпечуються наочною допомогою, плакатами, попереджувальними написами і основними витягами з інструкцій по техніці безпеки і пожежної безпеки.

При розміщенні діагностичного устаткування на стаціонарному пункті, необхідно враховувати технологічні особливості і послідовність операцій. Деякі прилади раціонально розташувати на верстаках або в шафах. При правильному розташуванні устаткування можна добитися найбільш зручних і сприятливих умов праці.

Електричні дроти, трубопроводи подачі повітря, води, пального і тому подібне для живлення устаткування мають бути укладені в місцях, що не допускають їх механічного або іншого пошкодження, а також повинні забезпечувати безпеку для оточуючих і вільний доступ для обслуговування.

Для попередження забруднення зливоною оливою з двигуна і агрегатів трактора, оглядова яма повинна бути обладнана спеціальними ваннами або



деками для збирання оливи або трубопроводом для відведення оливи в спеціальний резервуар, встановлений поза приміщенням пункту.

Щоб попередити забруднення повітряного середовища відпрацьованими газами працюючого двигуна, пункт діагностування має бути обладнаний спеціальним газовідвідним пристроєм, при цьому з'єднання відвідного пристрою з вихлопною трубою двигуна має бути міцним, не допускаючим просочування газу в приміщення пункту.

Пересувні діагностичні установки забезпечуються набором справного устаткування, інструментом, пристосуваннями, засобами пожежогасіння, захистом від статичної електрики і аптечкою першої долікарської допомоги з набором відповідних медикаментів. Керувати пересувною діагностичною установкою дозволяється майстрові або слюсареві-діагностові за наявності у них прав водія автомобіля. Проведення яких-небудь робіт в кузові пересувної діагностичної установки при працюючому двигуні автомобіля не допускається.

При експлуатації пересувної ремонтно-діагностичної майстерні забороняється: включати електроспоживачі, не переконавшись в справності захисно-відключаючого пристрою; працювати з неізольованим електроінструментом, незаземленими електроприладами; використовувати світильники і переносне освітлення з напругою живлення понад 12 В; міняти запобіжники під напругою, а також вносити зміни в схеми електроустаткування і тому подібне.

До роботи з діагностичним устаткуванням допускаються особи з числа найбільш досвідчених і кваліфікованих механізаторів або ремонтних робочих, що пройшли спеціальне навчання, отримали спеціальність майстра-діагноста (майстра-налагоджувача), які добре знають будову об'єкта діагностування, діагностичне устаткування, правила безпечного користування ними і що пройшли інструктаж по техніці безпеки.

Багато діагностичних приладів живляться від електричної мережі, тому вони згідно п. 1.1.3. «Правил устаткування електроустановок» (ПУЕ), відносяться до категорії електроустановок. П. 1.1.3. «Правил» свідчить

«Електроустановками називаються установки, в яких виробляється, перетворюється і споживається електроенергія». Враховуючи це визначення, майстер-діагност, обслуговуючий прилади (електроустановки), повинен мати III кваліфікаційну групу по електробезпеці. Згідно правилам, що діють, до III групи електробезпеки відносяться працівники наступних професій: електромонтери, електрослюсарі, зв'язківці, оперативний персонал електропідстанцій, оперативно-ремонтний персонал електроустановок, а також навчаючі інженери і техніки. Для отримання III групи по електробезпеці майстер-діагност повинен знати пристрій і принцип роботи установки, мати елементарні пізнання в електротехніці, уміти передбачити небезпеки, можливі при роботі на електроустановках. Також повинен знати загальні правила техніки безпеки при роботі на електроустановках, спеціальні правила техніки безпеки по конкретно виконуваному виду роботи і порядок ведення нагляду за працюючими електроустановками. Окрім цього, він повинен знати способи надання першої допомоги при електротравмах і уміти їх практично здійснювати.

Слюсар або тракторист, що бере участь в діагностуванні трактора, повинні також отримати інструктаж по техніці безпеки і виконувати тільки ті роботи, що доручаються йому майстром-діагностом.

Діагностування тракторів є складовим елементом процесу технічного обслуговування, тому інструктаж по техніці безпеки повинен охоплювати заходи безпеки при виконанні всіх робіт, як діагностувальних так і регулювальних, виконуваних при технічному обслуговуванні.

Відповідальним за техніку безпеки на пункті діагностики є завідувач пунктом, а на пересувних діагностувальних установках - інженер-технолог-діагност (майстер-діагност), в обов'язки яких входить безпечна організація робочих місць, контроль за виконанням працівниками пункту правильних прийомів праці, періодичний інструктаж працівників згідно термінам, які описані «Положенням» по інструктажу, «Правилами техніки безпеки і виробничої санітарії для ремонтних підприємств системи «Сільгосптехніка» і

«Правилами техніки безпеки при роботі на тракторах, сільськогосподарських і спеціалізованих машинах».

Підготовка трактора до діагностування включає ряд операцій, що вимагають дотримання певних вимог безпеки.

При видаленні шламу і накипу з системи охолодження двигуна, а також промивці емкостей силової передачі не можна заливати миючу рідину в гарячий двигун, а також не слід допускати попадання мийної рідини на руки. У першому випадку можливий опік обличчя і рук паром, що утворилася, в другому -

ураження шкірного покриву. Заливати мийну рідину в систему охолодження

двигуна потрібно відром з носиком і в рукавицях. Аналогічні заходи безпеки необхідно дотримувати також при зливанні гарячої мийної рідини з системи охолодження.

Промивку внутрішньої поверхні двигуна, зливання гарячої оливи, а потім гарячої мийної рідини в спеціально підготовлену ємність слід виконувати в рукавицях і не допускати розливу оливи на підлогу або в оглядову яму, а також попадання на руки. Щоб уникнути травмування рук продуктами спрацювання, внутрішню поверхню піддону слід очищати шкрябаннями і волосяною щіткою.

Заходи безпеки при інших операціях підготовки двигуна і трактора в цілому є окремими елементами операцій діагностування. Тому безпека їх виконання враховується при виконанні кожної конкретної операції діагностування.

Загальний стан агрегатів трактора визначається при працюючому двигуні і зводиться до перевірки дії всіх важелів, педаль і рукояток управління трактором і механізмом підйому робочих органів. Дану операцію дозволяється проводити тільки трактористові-машиністові або майстрові-діагностові. При цьому необхідно стежити, щоб в зону перевірки трактора не заходили люди, що не мають відношення до виконання даної операції.

При вимірюванні частоти обертання колінчастого валу приставним тахометром необхідно стежити, щоб вісь валика тахометра строго збігалася з

віссю валу, інакше тахометр зіскочить з валу, і це може привести до травмування рук. Не можна також торкатися одягом до валу, що обертається.

Встановлювати ежектор індикатора витрати газів, що прориваються в картер приладу КИ-4887-II, на вихлопну трубу необхідно в рукавицях, щоб не отримати опіку рук. Перш ніж зняти індикатор з двигуна, щоб уникнути викид оливи з оливозаливної горловини, необхідно відкрити отвір сапуна.

Знімати форсунку і встановлювати компресиметр можна тільки при непрацюючому двигуні.

При необхідності незначного прокручування колінчастого валу двигуна вручну або гальмівною установкою КИ-4935, слід знімати зі свічки пускового двигуна дріт високої напруги, щоб не допустити запуску двигуна і повертання регульованих вузлів машини, що можуть привести до травмування.

Застосовуючи компресорно-вакуумну установку і пристосування для вимірювання зазорів в сполученнях кривошипно-шатунного механізму, не можна допускати прориву повітря з ресивера і з'єднань трубопроводів з манометрами.

Встановлювати діагностувальні прилади на двигун або агрегат слід тільки при непрацюючому двигуні і лише переконавшись в надійності всіх з'єднань можна приступати до запуску двигуна, а потім до включення контрольних приладів.

При перевірці герметичності системи охолодження із застосуванням стислого повітря слід включати його подачу тільки після закріплення наконечника повітряного шланга над отвором в головці блоку для форсунки, а при спостереженні через заливну горловину радіатора надягати захисні окуляри.

Проводити натягнення ременів вентилятора, компресора, генератора і тому подібне під час їх роботи забороняється.

Очищення направляючих пазів шківів слід здійснювати чистиком або викруткою, при цьому щоб уникнути пошкодження рук прокручувати шків треба в напрямку на чистик.

При перевірці стану прецизійних пар паливного насоса приладом КИ-4802, а також перевірці потужності двигуна по методу проф. Н. С. Ждановського, в цілях попередження попадання з секцій (які не перевіряються) паливного насоса палива, що викидається, і яке направляється вентилятором на майстра-діагноста рекомендується накручувати на секції спеціально приготовані трубки високого тиску і направляти витікаюче з них паливо в окрему ємність.

Перевіряючи форсунки на тиск впорскування і якість розпилювання, не можна заводити руки в зону розпилювання, оскільки щонайменші порошинки палива, володіючи великою швидкістю і силою, пробивають шкірний покрив і проникають в організм. Порошинки палива не повинні потрапляти в дихальні шляхи майстра-діагноста. Щоб цього не трапилось, струмінь розпорошеного палива слід направляти в ємність, що додається до приладу (глушник).

При визначенні потужності і економічності двигуна гальмівною установкою КИ-4935 необхідно витримати співісність валу редуктора гальмівної установки і валу відбору потужності, а на карданну передану встановити захисний кожух, без якого робота гальма не допускається. Знаходження людей біля карданної передачі навіть за наявності огорожі заборонене.

Виконання операції по регулюванню механізму включення муфти зчеплення пускового двигуна незручно і часто супроводиться травмуванням рук, тому необхідно дотримуватися обережності і не допускати прокручування колінчастого валу двигуна у момент проведення регулювань. При прокручуванні основного двигуна пусковим, слід знімати зі свічки останнього дріт високої напруги.

Регулювання муфти зчеплення приводить до травмування рук при роботі з несправними або не відповідними за розміром ключами, а також при неузгоджених діях слюсаря, регулюючого муфту, з робочим, що перевіряє колінчастий вал. Тому ця робота повинна проводитися по єдиній команді робочого, який регулює муфту.

При діагностичних операціях, пов'язаних з підйомом трактора домкратом, необхідно забезпечити стійке положення трактора. Для цього під майданчик



домкрата дозволяється підкладати прокладки тільки з некрихкого матеріалу. Застосування цегли і випадкових підставок забороняється. Під підняті вузли необхідно додатково підставляти спеціальні підставки. Застосування випадкових підставок може привести до падіння трактора і травмування працівника.

Працювати під трактором, піднятим на домкраті, при працюючому двигуні забороняється.

Операції діагностування механізмів шасі тракторів, пов'язані з розбиранням вузлів, повинні проводитися з дотриманням вимог безпеки при виконанні розбірно-складальних робіт.

При перевірці стану і муфт повороту гусеничного трактора динамометр ДПУ-0,02-1 необхідно надійно сполучати з рукояткою важеля повороту, інакше він може зірватися, що приведе до несподіваного різкого повороту трактора на місці. Якщо перевірка проводиться на оглядовій ямі, можливе падіння трактора в яму, а також травмування майстра-налагоджувача і людей, що знаходяться недалеко від оглядової ями. Таким чином, де б не проводилася ця операція над ямою або на ділянці біля пункту технічного обслуговування — знаходження людей поблизу трактора забороняється.

При перевірці технічного стану гідросистеми навісного пристрою трактора необхідно забезпечити герметичність з'єднань шлангів з штуцерами, а зливний шланг від приладу КИ-5473 опустити в бак гідросистеми нижче за рівень оливи, щоб уникнути спінювання і розбризкування гарячого масла. Забороняється знаходження сторонніх людей біля трактора при випробуванні гідравлічної системи механізму навіски.

Перш ніж приступити до перевірки напруги акумуляторних батарей, необхідно надіти рукавиці і очистити поверхню батарей обтиральним матеріалом, змоченим розчином нашатирного спирту. Напругу заміряють вилкою навантаження, при цьому слід остерігатися опіку рук нагрітим опором.

Перевірка напруги акумуляторних батарей коротким замиканням забороняється.

При визначенні величини рівня електроліту мірною трубкою щоб уникнути попадання електроліту на одяг і відкриті частини тіла, її потрібно

тримати над отвором акумуляторних батарей. Доливати електроліт слід гумовою грушею.

Для забезпечення пожежної безпеки стаціонарні пункти і пересувні діагностичні установки мають бути забезпечені засобами пожежогасіння згідно нормам, узгодженим з державною пожежною інспекцією.

Робочі повинні знати місця розміщення засобів пожежогасіння, сигнальних пристроїв сповіщення і уміти ними користуватися. Не можна допускати підтікання палива у паливопроводах, та іншому устаткуванні машин, а також забруднення робочих місць паливно-мастильними матеріалами.

Обтиральний матеріал, просочений паливно-мастильними матеріалами слід збирати в спеціальні металеві ящики (з кришками, що щільно закриваються) і щодня, після закінчення роботи, виносити за територію пункту і спалювати.

Палити дозволяється тільки в спеціально відведених місцях

При проведенні діагностування обов'язково слід дотримуватися правил безпеки в роботі з технічно-складними системами, машинами, бо це об'єкти підвищеної небезпеки, що можуть загрожувати здоров'ю та життю людини. Тому, щоб не виникало нещасних випадків потрібно знати загальні положення з техніки безпеки.

1. Розглянутий сучасний стан методів діагностування сільськогосподарської техніки. Проведений аналіз та класифікація причин зношення циліндро-поршневої групи.

2. Прослідковані найбільш правильні теоретичні основи діагностування, перекладки поршня, режимів роботи агрегату під час діагностування, види і динаміка віброакустики.

3. Визначені найпоширеніші методи діагностики за віброакустичним параметром та задачі досліджень параметрів ЦШ та зроблений огляд методики діагностування.

4. Проведена порівняльна характеристика досліджуваної методики діагностування і вже відомої. Зроблені дослідження на прикладі трактора МТЗ-82.П, з двигуном Д-243. Трактор має пробіг двигуна 900 мото.год. двигун, майже не зношений. І можна було б і далі сказати, що ходитиме довго, але таких висновків такій складній техніці не можна давати. Тому проводимо аналіз, на основі знятих показань датчиками.

Із даних акумулятора визначасмо, що двигун запустився за 2,612с (нагадаю, норма запуску дизельних двигунів 4-6 секунд, допускається 10с.).

Датчик ВЧ 3-го каналу після проведення спектрального аналізу показує найчастіше частоту 103,17 Гц на початку, що говорить про іскріння генератора, для якого характерні частоти 30-200 Гц, а також регулювання клапанів – 70-120 Гц. Далі, частоти 1190,50 Гц та 1239,40 Гц, відповідні кріпленню стартера, який проглядається при відносній компресії, і як виявилось при ремонті, саме і було причиною виникнення дефектів третього циліндра, втулка коромисла була розламана, а інша вийшла із свого посадочного місця.

Сказати можна впевнено, що підтвердженням наших показань і поставленого діагнозу був ремонт, який показав, що хоча б з місцем дефекту визначились на 100%. Тому потрібно завжди входити в дослідження все глибше, і робити їх більше для досягнення достовірних та правильних діагнозів.

1. Худяков І.В. Можливість застосування різних видів датчиків тиску для управління робочим процесом в ДВЗ. Науковий вісник Херсонської державної морської академії. Науковий журнал. Херсон: ХДМА. 2014. № 1(10). С.255-262.

2. Грицук І.В., Володарець М.В., Худяков І.В. та ін. Інформаційна система моніторингу стану транспортних засобів в умовах ITS: загальний підхід до формування морфологічної матриці. Збірник наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій. Київ: ДУІТ. 2018. №32 том 2. С.113-122.

3. Черненко В.В., Грицук І.В., Дзигар А.К., Худяков І.В., Манжелей В.С., Погорлицький Д.С. Особливості застосування нормуваних показників режимів праці та відпочинку в умовах експлуатації на транспорті. Праці Гаврійського державного агротехнологічного університету. Мелітополь: ТДАТУ. 2019. вип.19, т.4. С.310-319.

4. Грицук І.В., Матейчик В.П., Симоненко Р.В., Худяков І.В. Особливості дистанційної ідентифікації режимів роботи водія в інформаційній системі моніторингу транспортного засобу. Systemy i środki transportu samochodowego. Wybrane zagadnienia. Monografia nr.19. Seria:Transport. - Rzeszow. - 2019. - С.

7-15.  
5. A. Golovan, I. Gritsuk, V. Popeliuk, O. Sherstyuk, I. Noncharuk, R. Symonenko, V. Saravas, M. Volodarets, M. Ahieiev, D. Pohoriletskyi, I. Khudiakov. Features of Mathematical Modeling in the Problems of Determining the Power of a Turbocharged Engine According to the Characteristics of the Turbocharger, SAE Int. J. Engines 13(1)2020. doi:10.4271/2019-01-0001. Mode of access: SAE International / Scopus: Article ID: 03-13-01-0001. - Title from the screen. 214

6. Худяков І.В., Симоненко Р.В., Грицук І.В., Матейчик В.П., Волков В.П., Білоусова Т.П., Володарець М.В. Особливості дистанційної ідентифікації режимів праці та відпочинку водія в системі інформаційного моніторингу транспортних засобів. Збірник наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій. Київ: ДУІТ. 2020. вип.№35 С.146-156.

7. Грицук І.В., Худяков І.В., Погорлецький Д.С., Манжелей В.С. Формирование морфологической структуры информационной системы мониторинга транспортных средств в условиях эксплуатации. Материалы Международной научно-практической конференции «Автомобиле- и тракторостроение». Беларусь, Минск, БНТУ. 24-27 мая 2019. Т.2. - С. 39-43.

8. Грицук І.В., Худяков І.В., Симоненко Р.В., Погорлецький Д.С., Манжелей В.С. Дослідження структури інформаційної системи моніторингу сучасних транспортних засобів. Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту», 21-23 жовтня 2019 року: збірник наукових праць Вінниця: ВНУУ. 2019. - С.65 - 68.

9. Грицук І.В., Симоненко Р.В., Худяков І.В., Манжелей В.С., Погорлецький Д.С., Черненко В.В. Особливості розробки моделі бази даних інформаційної системи моніторингу транспортного засобу, оснащеного тахографом і трекером. Наукові праці Міжнародної науково-практичної конференції "Сучасні технології на автомобільному транспорті та машинобудуванні", 15-18 жовтня 2019 р., Харків: 2019. С.87-90.

10. Худяков І.В., Грицук І.В., Погорлецький Д.С., Черненко В.В., Манжелей В.С. Особливості системи дистанційного моніторингу комплексу експлуатації транспортного засобу. Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINET-2020) : збірка матеріалів XII Міжнародної науковопрактичної конференції, 27-29 травня 2020 р. Херсон: ХДМА. 2020. С.84-86.

11. Волков В.П. Організація технічної експлуатації автомобілів в умовах формування інтелектуальних транспортних систем / В.П. Волков, В.П. Матейчик, П.Б. Комов, О.Б. Комов, І.В. Грицук // Вісник Національного технічного університету «ХП». Збірник наукових праць. Серія: Автомобіле- та тракторобудування. — Х. : НТУ «ХП». — 2013. — № 29 (1002). с.138-144.

12. Волков В.П. Особливості формування методики застосування класифікації умов експлуатації транспортних засобів в інформаційних умовах GPS / В.П.

Волков, І.В., Грицук, Ю.В., Грицук, Г.К., Шурко, Ю.В., Волков // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Транспортне машинобудування. – Х.: НТУ «ХПІ», 2017. – № 14 (1236). – С. 10–20.

13. Волков В.П. Інформаційні системи моніторингу технічного стану автомобілів  
Монографія / Під редакцією Волкова В.П. / Волков В.П., Грицук І.В., Грицук  
Ю.В., Волков Ю.В., Володарець М.В. // Харків: Вид-во Панов А. М., 2018. –  
298 с.

14. Худяков І.В. Особливості формування та аналізу інформаційних структур  
системи моніторингу параметрів технічного стану транспортних засобів у  
взаємодії з тахографом / Худяков І.В., Симоненко Р.В., Манжелей В.С.,  
Черненко В.В. // Системи і засоби транспорту. Проблеми експлуатації і  
діагностики. монографія / Blatnický Miroslav, Dižo Jan, Gerlici Juraj та ін.; за  
наук. ред. проф. Грицука Ігоря. – Херсон : ХДМА, 2019. – с. 250-259. 217

15. Методи системного аналізу властивостей автомобільної техніки: навч. посіб.  
/ М.Ф. Дмитриченко, В.П. Матейчик, О.К. Грицук, М.П. Цюман. – К.: НТУ,  
2014. – 168.

16. Волков В.П. Интеграция технической эксплуатации автомобилей в  
структуры и процессы интеллектуальных транспортных систем: монография /  
Волков В.П., Матейчик В.П., Никонов О.Я., и др; под. ред. Волкова В.П. –  
Донецк: Ноупидж, 2013. – 400 с.

17. Волков В.П. Особливості моніторингу і визначення статусу несправностей  
транспортного засобу у складі бортового інформаційно-діагностичного  
комплексу / Волков В.П., Грицук І.В., Комов А.П., Волков Ю.В. // Вісник  
Національного транспортного університету. – К.: НТУ, 2014. – Випуск 30, 416  
с., с. 51-62.

18. Матейчик В.П. Особливості моніторингу стану транспортних засобів з  
використанням бортових діагностичних комплексів / Матейчик В.П., Волков  
В.П., Комов А.П., Грицук І.В., Комов А.П., Волков Ю.В. // Науковий журнал  
«Управління проектами, системний аналіз і логістика». – К.: НТУ, 2014. –  
Випуск 13, 370 с., стор. 126-138.



19. Фурсов В. А., Бибииков С. А., Якимов П. Ю. Локализация контуров объектов на изображениях при вариациях масштаба с использованием преобразования Хафа // Компьютерная оптика. – 2013. – 37(4). С. 496–502.

20. Небаба С. Г., Захарова А. А. Алгоритм построения деформируемых 3D моделей лица и обоснование его применимости в системах распознавания личности // Труды СПИИРАН. – 2017. – Вып. 52. – С. 157–179. 218

21. Войтюк В.Д., Демко А.А., Рубльов В.І., Надточій О.В., Демко С.А. Структура і загальні положення концепції технічного сервісу енергонасиченої с.-г. техніки. Вісник Харків. ДТУСГ. «Підвищення надійності відновл. деталей машин»-Вип. 15. Харків, 2004-С.214-222.

22. Губертус Гюнтер. Диагностика дизельных двигателей. Серия «Автомеханик» Пер. с нем. Ю.Г. Грудского – М.: ЗАО «КЖИ» «За рудем». 2004 г. – 176 с.: ил.

23. Шипилевский Г.Б. Перспективы развития диагностики технического состояния тракторов на основе бортовых электронных средств // Тракторы и сельскохозяйственных машин. - 2004, № 7.

24. А.И. Коновалов, А.Г. Чупыра. Вибродиагностика – эффективное средство предупреждения отказов // Энергетика и электрификация, 4/94, с.7-9, 1994.

25. А.И. Коновалов, П.П. Лукьяненко, А.М. Тонконоженко. Ранняя вибродиагностика механических повреждений // Космическая техника. Ракетное вооружение. Научно-технический сборник КБ «Южное», вып. 1-2, с. 79-82 Днепропетровск, 1995

26. А.И. Коновалов, О.Н. Лукьяненко и др. Спосіб діагностування транспортних засобів. Патент №22638. Бюл. №5, 25.04.2007.

27. Рубльов В.І., Войтюк В.Д. Управління якістю технічного сервісу і сільськогосподарської техніки при постачанні.: Посібник; За ред. В.І.Рубльова-К.: Видав. НАУ, 2005.-198 с.; с іл.

28. Рубльов В.І. Система методів досліджень та їх реалізація при оцінці якості с.-г. техніки. К.: Наук. Вісник НАУ.- 2002.-Вип. 58.-С.178-181.

29. Вибрация и вибродиагностика судового электрооборудования / Александров А.А., Барков А.В., Баркова Н.А., Шафранский В.А. – Л.: Судостроение, 1986

30. Коллакот Р. Диагностика повреждений. Пер. с англ. – М.: Мир, 1989

31. Моек Е., Штрикерт Х. Техническая диагностика судовых машин и механизмов: Пер. с нем.- Л.: Судостроение, 1986

32. Введение в техническую диагностику / Верзаков Г.Ф., Киншт Н.В., Рабинович В.И., Тимонен Л. С. – М.: Энергия, 1968. – 224 с.

33. Гнеденко Б.В., Беляев Ю.К., Соловьев А.Д. Математические методы в теории надежности. Основные характеристики надежности и их статистический анализ. – М.: Наука, 1965. – 524 с.

34. Гвициани Д.М., Лисичкин В.А. Прогностика. – М.: Знание, 1968. – 91с.

35. Ивахненко А.Г., Лапа В.Г. Предсказание случайных процессов. – Киев: Наукова думка, 1971. – 416 с.

39. Техническое задание на разработку опытного образца диагностической установки для диагностики тракторов. Шифр „Урожай-1Г”. Рукопись Фонд Украинского филиала ГОСНИТИ. К., 1973. – 10 с.

40. Бороденко Ю.М. Синтез експертної діагностичної системи електроприводу автомобіля / Ю.М. Бороденко // Автомобіль і електроніка. Сучасні технології.

– 2018. – №13. – С. 108-114.

41. Особливості моніторингу і визначення статусу несправностей транспортного засобу у складі бортового інформаційно-діагностичного комплексу / В.П.

Волков, І.В. Грицук, А.П. Комов, Ю.В. Волков // Вісник Національного транспортного університету. – 2014. – Вип. 30. – С. 51-62.

42. Аналіз чинників, що визначають інтенсивність і характер зносу протектора шин та його зв'язок з технічним станом елементів автомобіля / О.П. Кравченко, О.П. Сакно, О.В. Лукічов, М.І. Гнатюк // Наукові нотатки. – 2011.

– № 31. – С. 170-176.

43. Кукурудзяк Ю.Ю. Моніторинг технічного стану автомобіля при різних умовах експлуатації / Ю.Ю. Кукурудзяк // Наукові нотатки. – 2016. – № 55. – С. 228-231.

44. Павленко В.М. Місце діагностування в процесі життєвого циклу автомобіля / В.М. Павленко // Вісник Донецької академії автомобільного транспорту. – 2014. – № 3. – С. 74-77.
45. Шаров С.В. Розробка інтелектуальної інформаційної системи для птахівництва / С.В. Шаров, Д.В. Лубко / Системи обробки інформації. – 2017. – № 4(150). – С. 170-174. <https://doi.org/10.30748/soi.2017.150.36>.
46. Abdelsalam H.M. Expert system for green transportation system: an overview / H.M. Abdelsalam, M.N. Borhan, R.A.O. Rahmat // Journal of Theoretical & Applied Information Technology. – 2018. – Vol. 96.– No. 7. – P. 1907-1923.
47. Budiharto W. The development of an expert car failure diagnosis system with bayesian approach / W. Budiharto // Journal of Computer Science. – 2013. – Vol. 9. – No. 10. – P. 1383-1088. <https://doi.org/10.3844/jcssp.2013.1383.1388>.
48. Geng C. Embedded Fault Diagnosis Expert System on Weapon Equipment / C. Geng, F. Gao // 6th International Conference on Mechatronics, Computer and Education Informationization (MCEI 2016). – 2016. – Vol. 130. – P. 1112-1119.
49. Implementing an expert diagnostic assistance system for car failure and malfunction / S.A. Mostafa, S.A. Mohd, A.M. Mazin, O.I. Obaid // International Journal of Computer Science Issues (IJCSI). – 2012. – Vol. 9. – No. 2. – P. 1-7.
50. Using UML for modeling procedural legal rules: Approach and a study of Luxembourg's Tax Law / G. Soltana, E. Fourneret, M. Adedjouma, M. Sabetzadeh, L. Briand // International Conference on Model Driven Engineering Languages and Systems. – Springer, Cham, 2014. – P. 450-466.

НУБІП України

НУБІП України