

Яцковський В. І.

Солона О. В.

Яцковська Р. О.

**Вінницький  
національний  
аграрний  
університет****УДК 621. 4.019****ДІАГНОСТУВАННЯ ПАЛИВНОЇ  
АПАРАТУРИ ДИЗЕЛЬНИХ  
ДВИГУНІВ ЗА ВІБРАЦІЙНИМИ  
ХАРАКТЕРИСТИКАМИ БЛОК-  
КАРТЕРУ ДВИГУНА**

*В настоящей работе приведены результаты исследования вибрационных характеристик двигателя внутреннего сгорания в зависимости от неисправностей насоса высокого давления, и показана блок-схема автоматизированного диагностического комплекса.*

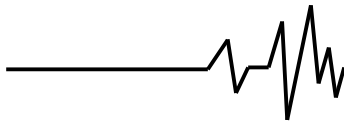
*This work the results of research of oscillation descriptions of combustion engine are driven depending on the disrepairs of pump high-pressure, and the flow-chart of the automated diagnostic complex is shown.*

Технічний стан паливної системи сільськогосподарських машин безпосередньо впливає на велику кількість показників їх роботи. До цих показників відносять потужність, економічність, санітарні вимоги, тощо. Відхилення регулювань паливної апаратури від нормальних настановних значень, крім погіршення показників потужності і економічних показників двигунів, викликає також ріст динамічних і температурних характеристик робочого процесу, що впливають на вібрацію, динамічну деформацію і теплову напруженість деталей сільськогосподарської техніки.

В наш час застосовується планово-запобіжне обслуговування рухомого складу, головне завдання якого полягає в попередженні відмов у період роботи і підтримці надійності рухомого складу на високому рівні протягом тривалого періоду. Застосування систем технічного діагностування (СТД) дозволить відмовитися від регламентації робіт через фіксовані періоди експлуатації і перейти до робіт, обсяг і зміст яких визначається фактичним станом об'єкта діагностування. Таким чином, можна вжити заходів з підтримки сільськогосподарської техніки на високому техніко-економічному рівні протягом тривалого терміну служби. Складність конструкції ДВЗ, велика кількість вузлів і агрегатів, що підлягають діагностуванню, викликає необхідність створення і розвитку систем технічного діагностування. Дана задача є актуальною ще і тому, що в даний час витрати на підтримку технічної готовності ДВЗ у 5-10 разів перевершує витрати на його виробництво.

Пошук несправностей у дизелі займає 50-80% загального часу простою в ремонті. При наявності систем технічного діагностування воно може бути скорочене в десятки разів. Тому розробка СТД є актуальною задачею.

Працездатність двигуна характеризується головним чином показниками потужності, витратою палива й оливи, пусковими якостями, забезпеченням санітарних вимог. Спостереження за тракторними двигунами протягом тривалої експлуатації показали, що потужність, паливні й екологічні показники змінюються, в основному, в зв'язку з порушеннями в роботі паливної апаратури. У роботі [1] вказується, що при експлуатаційних випробуваннях тракторних двигунів з порушеними регулюваннями паливної апаратури вівся облік відмов, обумовлених погіршенням робочого процесу. Визначення надійності двигунів проводилося за різних порушень регулювань паливної апаратури, у тому числі і комплексних. На циліндри з нормальними регулюваннями, відмов приходить на 48% менше, ніж на циліндри з порушеними регулюваннями паливної апаратури. З 64 відмов розпилювачів форсунок (по 24 циліндрах) 46 припадає на циліндри з порушеними регулюваннями паливної апаратури; з 19 відмов прокладки головки блоку 14 відносяться до циліндрів з порушеними регулюваннями паливної апаратури; з 17 відмов паливопроводів високого тиску і з 8 відмов клапанів на циліндри з порушеними регулюваннями паливної апаратури припадає відповідно 11 і 5 відмов. Параметр потоку



відмов  $W$  у циліндрів з порушеними регулюваннями паливної апаратури більше в 2 рази, середня кількість відмов  $M_{ср}$  - у 2,5 рази, середній наробіток на відмови  $T_{ср}$  нижче в 2,1 рази, час пошуку  $T_p$  і простою  $T_{пр}$  більше в 2,4 - 2,5 рази в порівнянні з циліндрами, в яких робочий процес протікає нормально.

Для побудови систем технічного діагностування необхідно вирішити задачі пов'язані з розпізнаванням образів. Як відомо, одним з найважливіших напрямлень застосування методів розпізнавання є системи технічного діагностування сільськогосподарських машин та механізмів. Існує багато методів розпізнавання образів, але в останні роки все ширше застосовуються нейронні мережі. Їх переваги в тому, що вони можуть змінювати свою поведінку в залежності від зміни зовнішнього середовища. Після отримання вхідних сигналів вони саморегулюються, щоб забезпечити необхідну реакцію.

Сучасний стан питання віброакустичної діагностики дозволяє розробити діагностичні системи для ДВЗ дуже високого рівня [2,3]. Такі системи можуть знайти застосування при виробництві, ремонті й експлуатації, а також при створенні нових двигунів. Використання методів вібродіагностування в ДВЗ має наступні переваги:

- високий ступінь контролепридатності двигунів за віброакустичними параметрам;
- технологічність виготовлення первинних перетворювачів, а також їх міцністю, ресурсом, точністю, простотою монтажу;
- унікальною універсальністю і глибиною пошуку широкого класу дефектів.

Однак створення систем віброакустичного діагностування пов'язане зі значними проблемами встановлення однозначного зв'язку між характеристиками дефектів і параметрами вібраційних процесів. Ці проблеми обумовлені складністю побудови стійких діагностичних ознак, тому що вібраційний процес являє собою інтегральну сукупність великого числа сигналів, що поширюються від віброактивних джерел акустичними каналами до первинних перетворювачів, при цьому сигнали залежать не тільки від наявності дефектів, але й від режиму роботи двигуна. Як діагностичні ознаки використовуються амплітуда і фазові параметри віброакустичного сигналу щодо базової відмітки (наприклад, ВМТ поршня одного з циліндрів). Це приводить до значних помилок при постановці діагнозу. Однак, якщо з достатньою точністю по куту повороту вала здійснити вимір фазових параметрів

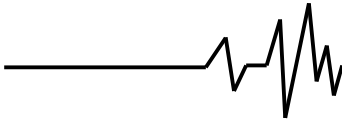
вібросигналу, то можна одержати діагностичний параметр, досить чуттєвий до зміни технічного стану паливної апаратури дизеля [4,5].

Експериментально встановлено, що зміна регульованих параметрів паливної апаратури обумовлює зміну віброакустичних показників у дефектаційних зонах блоку двигуна. Так, зменшення кута випередження подачі палива від 18 до 12 градусів до ВМТ знижує загальний рівень вібрації в зоні циліндрів на 4 - 5%. При пізній подачі (8 - 9 градусів до ВМТ) загальний рівень знижується на 6 - 7%. Збільшення кута випередження подачі палива до 21 градуса помітного підвищення вібрацій не викликає. Збільшення кута випередження подачі палива понад 23 градусів до ВМТ викликає підвищення вібрацій у зоні циліндрів і зоні підшипникових вузлів до 15%. Значна зміна тиску початку впорскування палива сприяє зміні рівня вібрацій в області циліндрів у діапазоні 2000 - 4000 Гц, який лінійно підвищується в 3 - 5 разів зі зміною частоти обертання колінчатого валу від 700 до 1800 об/хв. Рівень вібрації блоку циліндрів в діагностичних зонах змінюється й у залежності від теплового режиму двигуна. З підвищенням температури охолодної рідини й оливи в'язкість останньої зменшується, у результаті величина ударного імпульсу в підшипникових вузлах збільшується. Параметри підвіски двигуна (на тракторі - стандартними амортизаторами, на стенді - жорстким кріпленням) не впливають на вібрацію в діапазоні від 500 до 10000 Гц. Отже, через параметри підвіски не може виникнути похибка при визначенні зазорів у двигуні за високочастотними параметрами вібрації.

Випробування проводилися на дизельному двигуні Д-240 трактора МТЗ-80.

Двигун Д-240 трактора МТЗ-80 - має 4 циліндри, розміщення циліндрів рядне, діаметр циліндра - 110 мм, хід поршня - 125 мм, літраж двигуна - 4,75 л, ступінь стиску - 16, зазор між напрямною частиною поршня і циліндром - 0,18...0,20 мм, порядок роботи циліндрів - 1-3-4-2, паливний насос високого тиску - УТН - 5. Паливний насос високого тиску УТН - 5: подача палива на номінальному режимі роботи - 75 см<sup>3</sup>, початок дії регулятора - 1115...1125 хв<sup>-1</sup>, повне виключення подачі - 1210 хв<sup>-1</sup> кут геометричного початку подачі 57+1, град., кут випередження подачі - 25...27 град. Двигун розміщено на обкаточно-гальмівному стенді КИ - 5542 ГОСНИТИ.

Для виявлення якісної залежності між коливаннями блоку-циліндрів дизельного двигуна та розрегулюваннями паливної апаратури використовується стандартний п'єзокерамічний приймач прискорень КД - 35



(акселерометр), який представлений на рис. 1. Він має наступні параметри:

- межа похибки калібрування (для оберненої залежності) – 2% для частот коливання 50...2000 Hz, та 3% для частот коливання 20...4000 Hz;
- маса – 28 г;
- максимальне прискорення при синусоїдальному збудженні – 3000 м/с<sup>2</sup>;
- максимальне поперечне прискорення – 1000 м/с<sup>2</sup>;

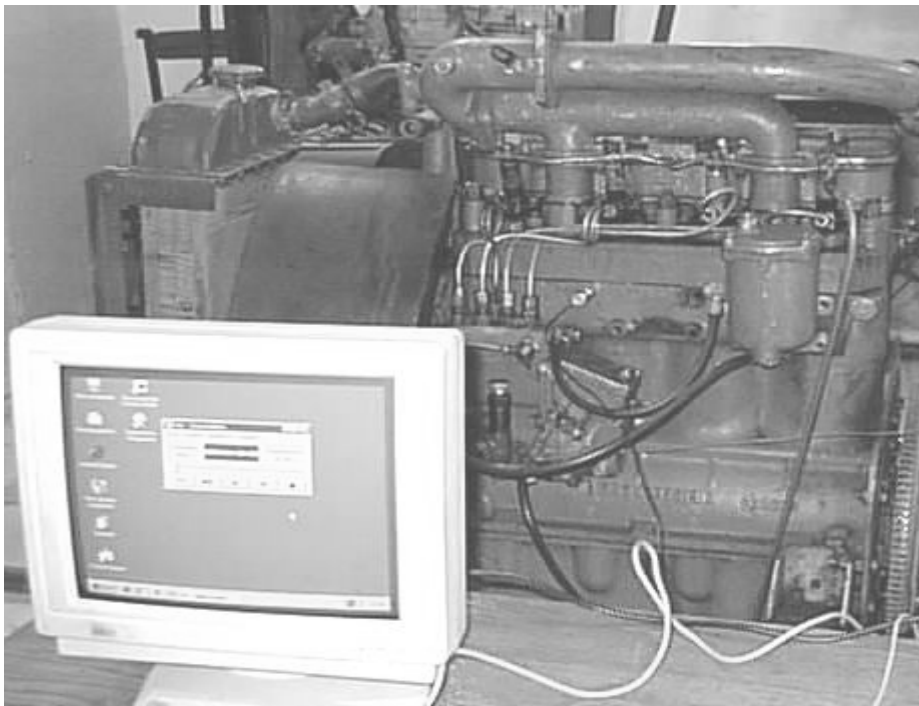
- резонансна частота (при з'єднанні з сталевим предметом масою біля 200 г) > 18 kHz;

Даний пристрій з'єднано з ПЕОМ через звукову плату. Отримані сигнали перетворюються з аналогового вигляду в цифровий, що дозволяє оброблювати отримані криві у цифровому вигляді.

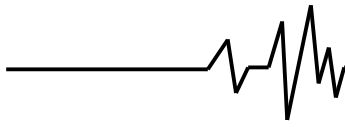
Загальний вигляд експериментальної установки наведено на рис. 2.



**Рис. 1. Загальний вигляд акселерометра KD – 35**

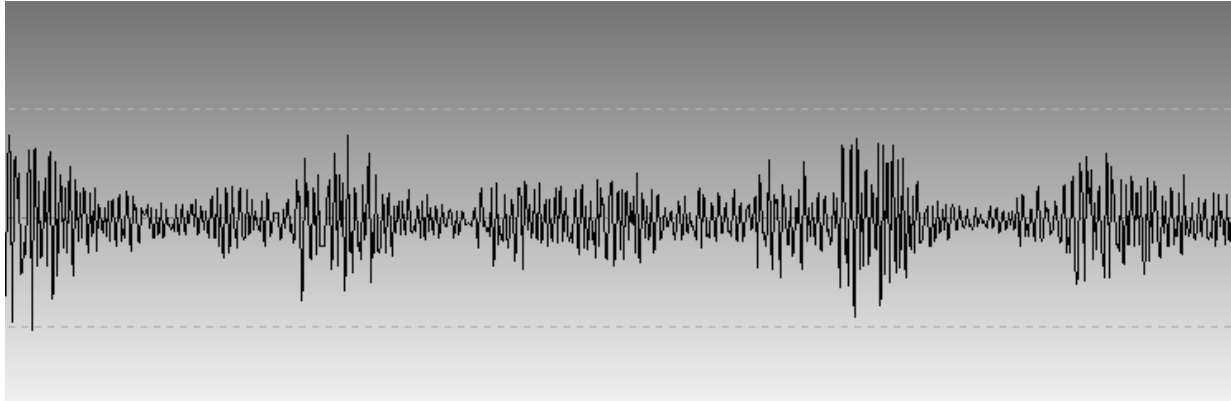


**Рис. 2. Загальний вигляд експериментальної установки**



Для дослідження вібро-акустичних параметрів блоку-циліндрів дизельного двигуна в залежності від різних розрегулювань паливної апаратури, сигнал, який знімається з двигуна обробляється згідно з методикою яка описана в роботі [6]. Сигнал має довжину 60 секунд, при цьому кількість точок в кожній кривій близько

1,5 мільйона. Після запису сигналу, обробляємо його для отримання спектру. Експериментальні криві знімалися для різних роз регулювань паливної апаратури та при зміні обертів двигуна та різній його завантаженості. Загальний вид експериментальної кривої приведений на рис. 3.



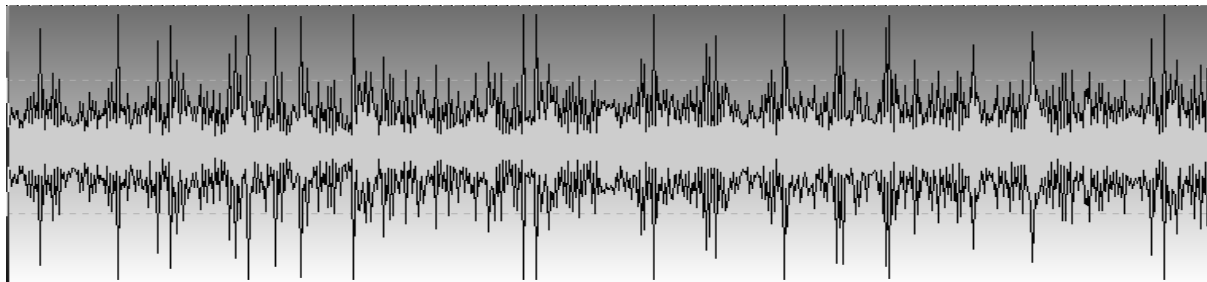
**Рис. 3. Загальний вигляд експериментальної кривої віброприскорення блок-картеру двигуна**

Криві знімалися в чотирьох точках, навпроти другого циліндра. Загальний вид кривих при повністю відрегульованій паливній апаратурі при 1000 об/хв., та без навантаження зображені на рис. 4.

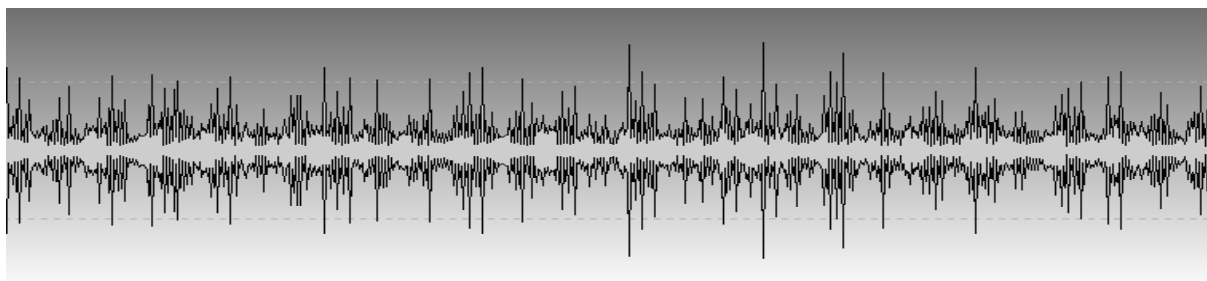
Як видно з цього рисунка амплітуда кривих досить сильно відрізняється. Перша точка вимірювання розміщена на впускному

трубопроводі, друга точка вимірювання розміщена навпроти другого циліндра, третя точка розміщена навпроти колінчастого валу, а четверта точка розміщена в самій нижній частині двигуна – картері.

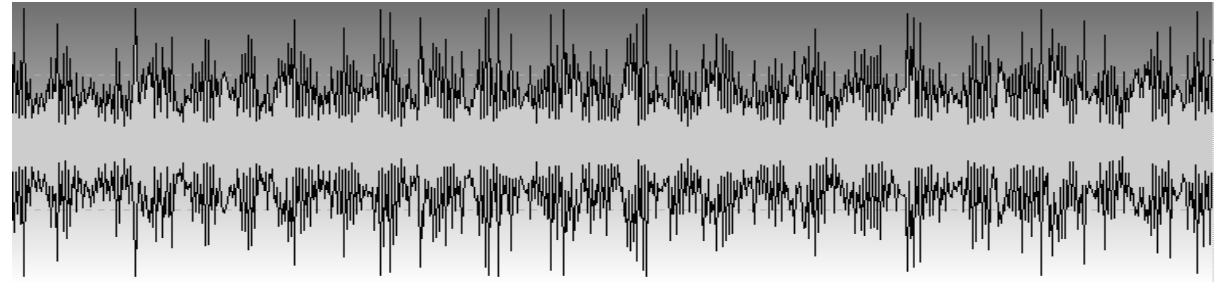
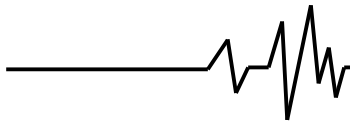
На рис. 5 зображені відповідні спектрограми цих чотирьох кривих.



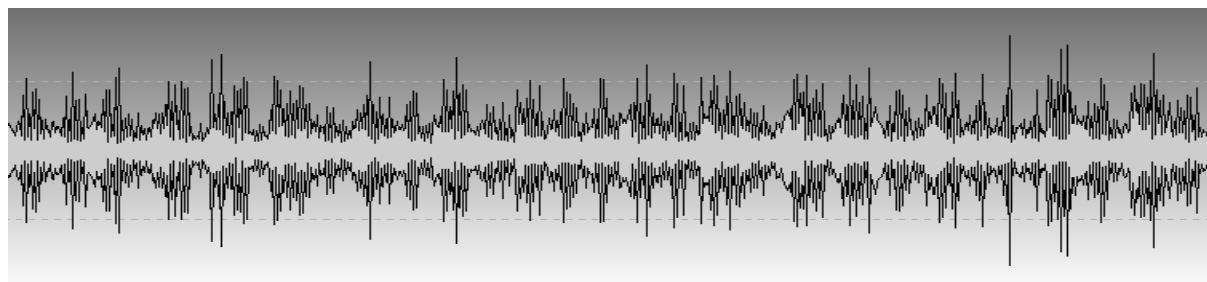
a)



б)

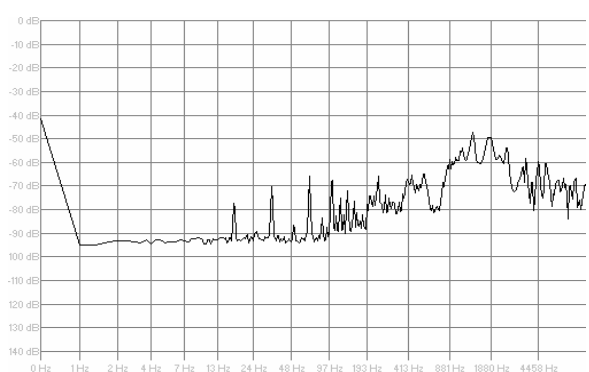


в)

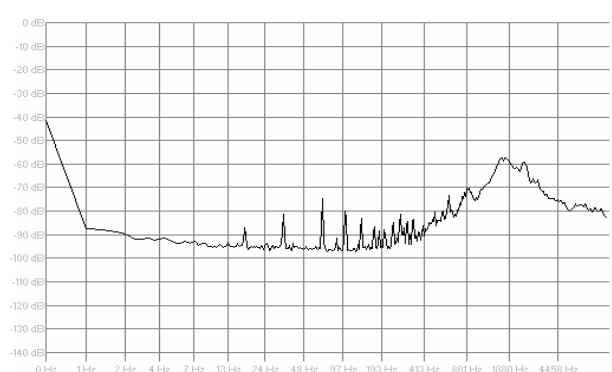


г)

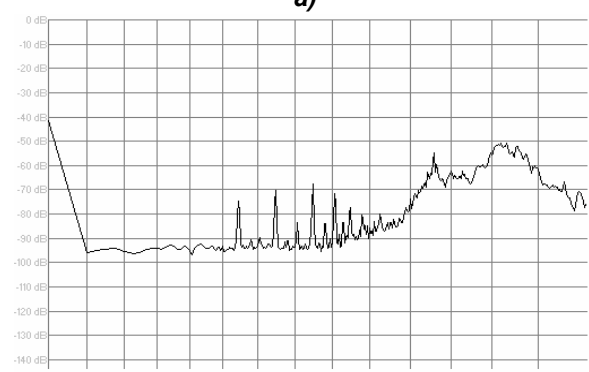
**Рис. 4. Експериментальні криві зняті з блоку циліндрів двигуна при постійних оборотах без навантаження в чотирьох точках блоку**



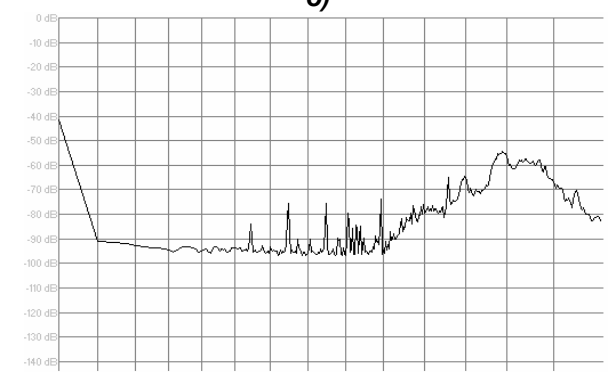
а)



б)



в)



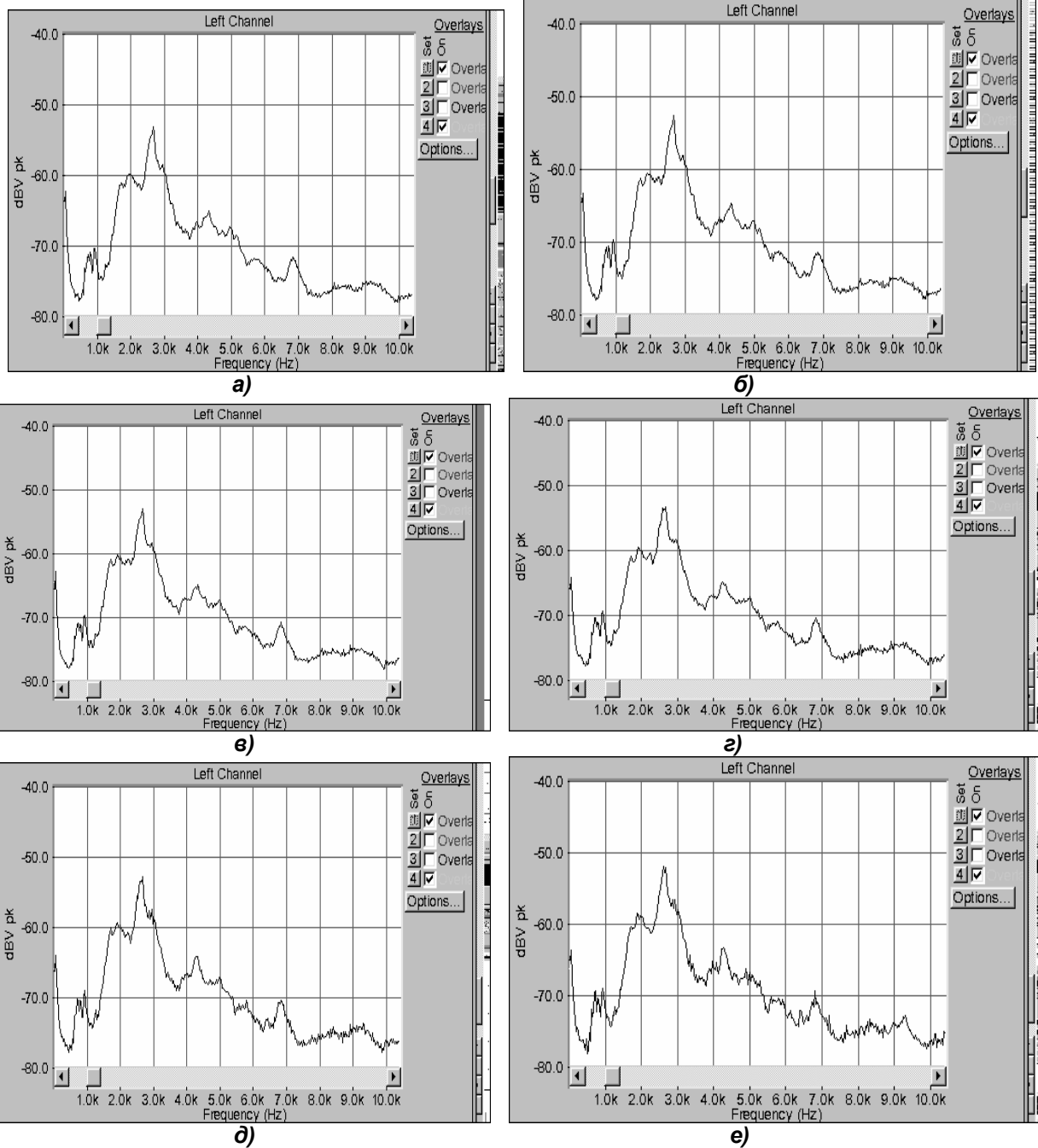
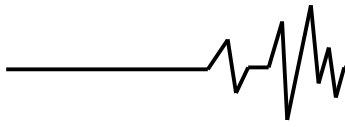
г)

**Рис. 5. Спектрограми сигналів, кривих віброприскорення**

Розглянемо залежність спектру сигналу від довжини реалізації.

На рис. 6 зображено спектри сигналів в залежності від довжини реалізації. Довжина

сигналу, який знімається з блок-картеру дорівнює 60 секундам. Поступово будемо зменшувати довжину реалізації з одночасним дослідженням середнього спектру сигналу.

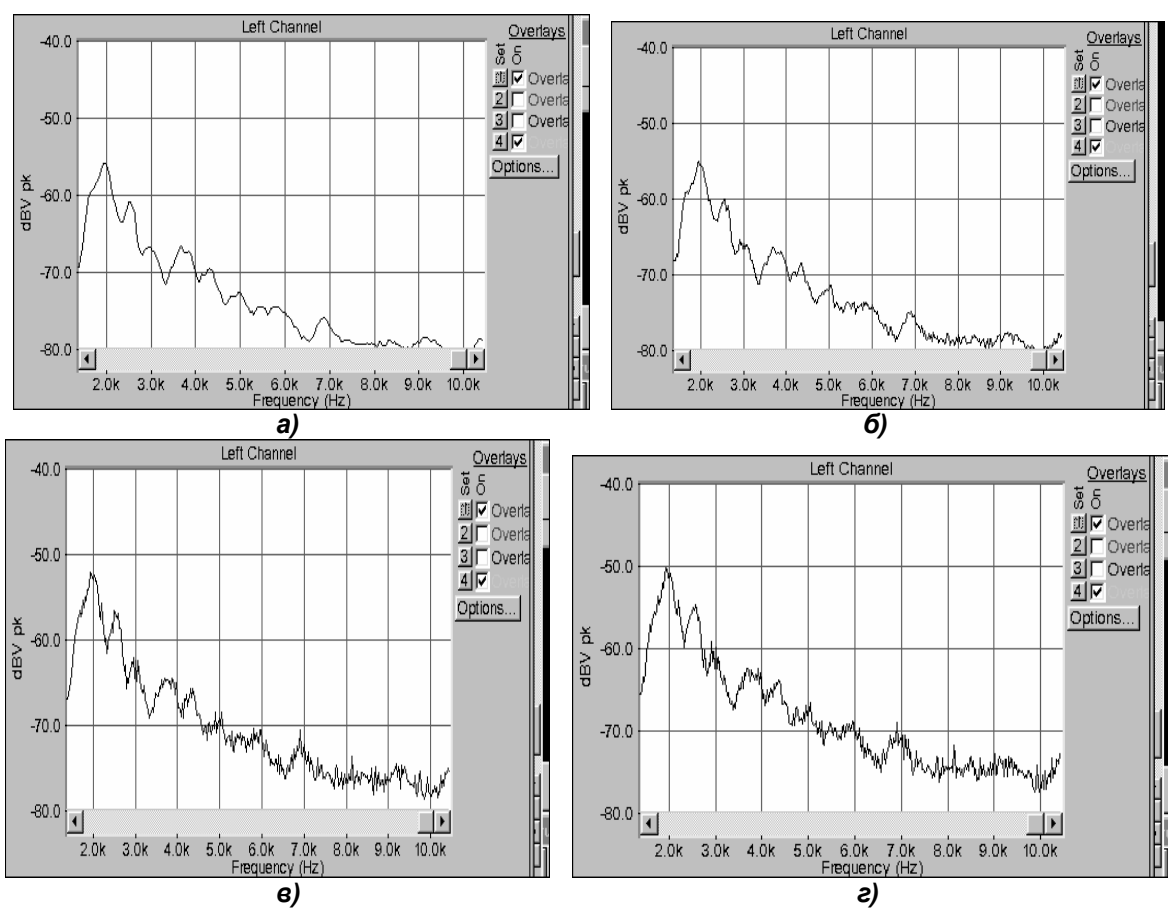
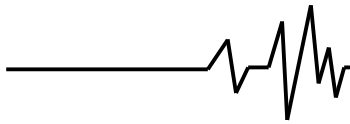


**Рис. 6. Залежність середнього спектру від довжини реалізації**  
а)-60 с, б)- 50 с, в) – 40 с, г) – 30 с, д) – 20 с, е) – 10 с

Як видно з приведених рисунків середній спектр не досить сильно залежить від довжини реалізації. Це пояснюється тим, що середній спектр будується по 32768 точках, а їх навіть в п'яти секундах сигналу більше. В загальні, в 1 хвилині записаного сигналу міститься близько 1,5 млн. точок, що дуже багато і взагалі не потрібно. Достатньо зняти сигнал приблизно за

п'ять секунд роботи двигуна. Це використовує менше пам'яті та зменшує час обробки сигналу, що приводить до зменшення часу діагностування.

Розглянемо середній спектр сигналу в залежності від кількості точок, по яким будується перетворення Фур'є. Довжину реалізації візьмемо п'ять секунд.

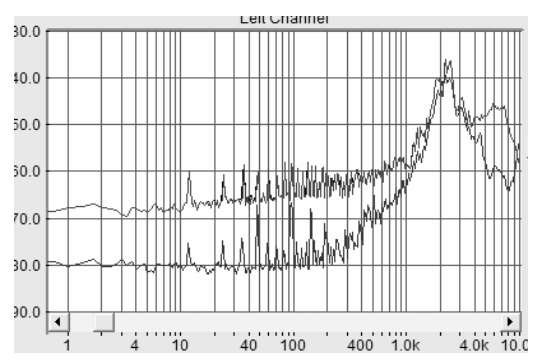


**Рис. 7. Залежність середнього спектру сигналу від кількості точок, за якими будується середній спектр: а)-512 точок, б)-4096точок, в)-32768 точок, г) – 65536 точок**

Як видно з приведених рисунків, середній спектр сигналу краще будувати по більшій кількості точок, тому що ми отримуємо більшу кількість частотних складових, що підвищує інформативність отриманих результатів, але і збільшує затрати часу на побудову такого

спектру, в подальшому ми будемо використовувати середній спектр побудований по 32768 точках.

При зміні навантаження на двигун криві спектру зображені на рис. 8.



**Рис. 8. Спектр віброприскорень блоку-циліндрів двигуна при зміні навантаження при постійній частоті обертання колінчатого валу двигуна (верхня крива навантаження 10% , нижня – 30%)**

При відключенні другої форсунки отримуємо наступні спектри (рис. 9.).

Для розпізнавання на нейронну мережу подається вектор ознак який складається з зображень (рис. 10.).

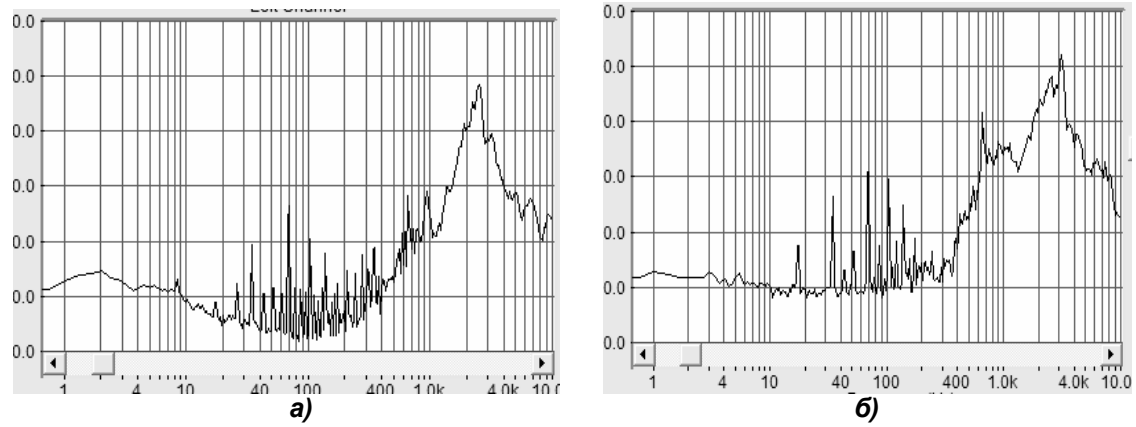
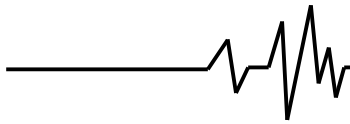


Рис. 9. Спектри вібропереміщення при  $n=1000$  об/хв при відключенні форсунки на другому циліндрі

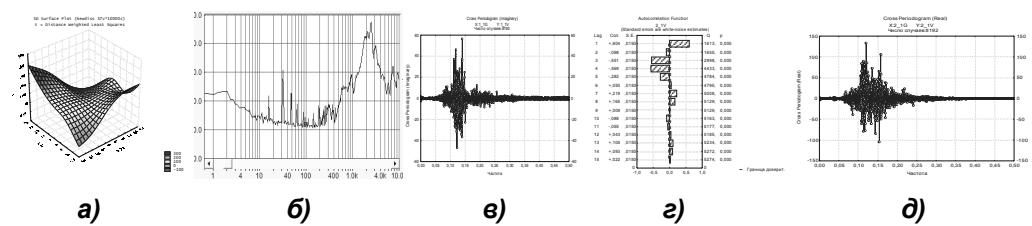


Рис. 10. Загальний вид вектора ознак, який подається на розпізнавання:  
 а) поверхні, утворені вертикальними і горизонтальними кривими віброприскорення;  
 б) амплітудно-частотна характеристика кривої віброприскорення;  
 в) крос-періодограма кривої віброприскорення; г) автокореляційна функція;  
 д) крос-спектр кривої віброприскорення

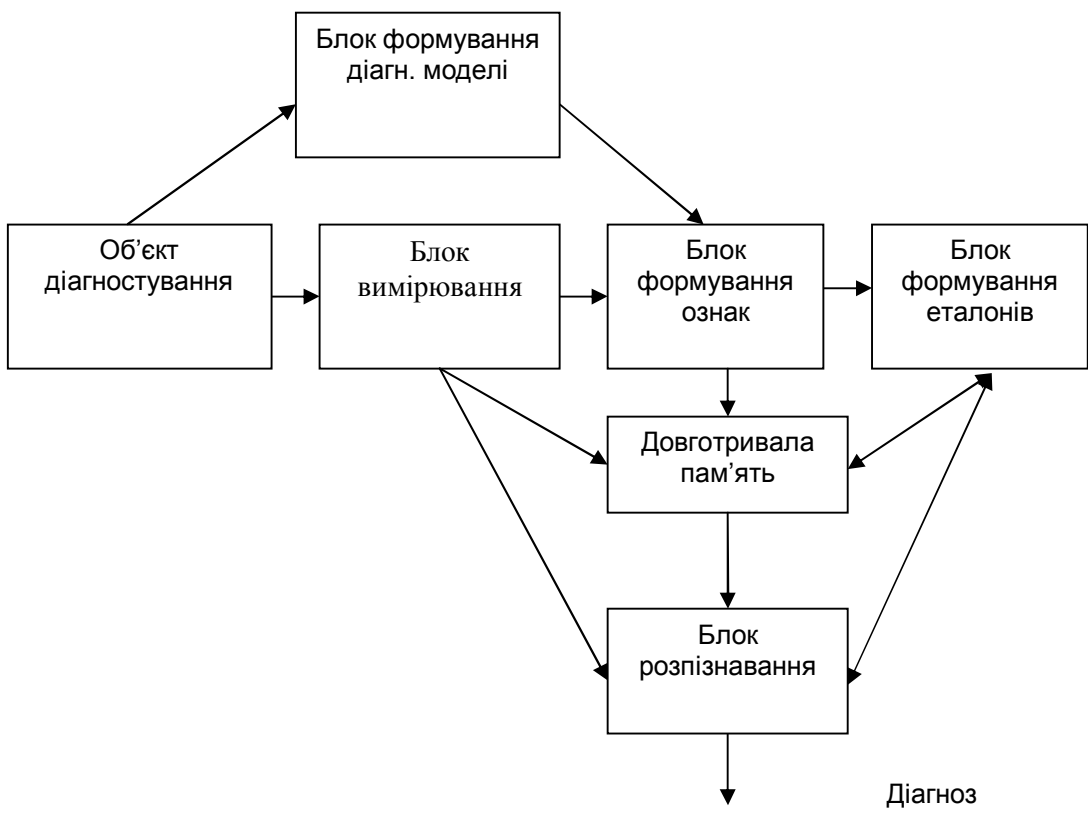
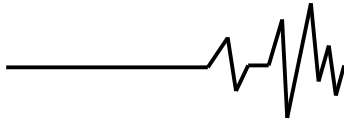


Рис. 11. Загальна блок-схема бортової системи діагностування





Для діагностування використовуємо багатопарову нейронну мережу. Кожне зображення подається на окрему нейронну мережу, яка розпізнається. Таким чином діагноз ставиться більш точно. Якщо нейронна мережа не може поставити діагноз, то починається процедура навчання. Ставиться запит оператору, які несправності спричинили до появи такого зображення і після цього перебудовується первинна база ознак.

Процес розпізнавання ознак описаний в роботах [7,8,9].

### Література

1. Ждановский Н.С., Николаенко А.В., Надежность и долговечность автотракторных двигателей. – Л.: Колос, Ленингр. Отд-ние, 1981, -295 с.
2. Лайон М, Дедисонт К. Проектирование высокоуровневой диагностической системы. // Конструирование и технология машиностроения. – 1984.-№1.-С.11-16.
3. Голов Ф.В., Добронос А.М., Ермаков Ю.Д. Виброакустические методы исследования рабочих процессов дизеля. //Исследование надежности и экономичности дизельного подвижного состава, Сб.ст.- Омск, ОМИИТ, 1983.- С. 36-39.
4. Колчин А.В., Бобков Ю.К. Новые средства и методы диагностирования автотракторных двигателей. – М.: Колос, 1982. – 112 с.
5. Колчин А.В., Бобков Ю.К. Новые средства и методы диагностирования автотракторных двигателей. – М.: Колос, 1982. – 112 с.
6. Бендат Д, Пирсол А. Измерение и анализ случайных процессов. Мир.- 1974, 463 с.
7. Krasilenko V.G. et al. "Continuous Logic Equivalent Models of Hamming Network Architectures with Adaptive-Correlated Weighting", Proc SPIE, Vol.3402, pp.398-408, 1977.
8. Krasilenko V.G. et al. "Optical pattern recognition algorithms on neural-logic equivalent models and demonstration of their prospectiveness and possible implementations", SPIE, Vol. 4387, pp.247-260, 2001.
9. В.Г. Красиленко, Р.А. Яцковская, В.И. Яцковский. Исследование и моделирование эквивалентной модели гетероассоциативной памяти. НАУЧНАЯ СЕССИЯ МИФИ-2010. XII ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «НЕЙРОИНФОРМАТИКА-2010»: Сборник научных трудов. В 2-х частях. Ч. 2. М.: НИЯУ МИФИ, 2010. –с. 83-91.