

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

01.11 – МР.2223 ”С” 2023.12.07. 106 ПЗ

УШИРОВ НІКІТА ЮРІЙОВИЧ

2024 р.

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Механіко-технологічний факультет

УДК 681.518.54:62-144

ПОГОДЖЕНО
Декан механіко-технологічного факультету

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри
технічного сервісу та інженерного
(назва кафедри)
менеджменту імені М. П. Момотенка

(підпис) Вячеслав БРАТІШКО
(ім'я, прізвище)

(підпис) Іван РОГОВСЬКИЙ
(ім'я, прізвище)

«___» _____ 2024 р.

«___» _____ 2024 р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему Удосконалення діагностичної матриці Байеса при діагностування двигунів John Deere

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, професор
(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Вячеслав БРАТІШКО
(ім'я, прізвище)

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи
д.т.н., проф.
(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Іван РОГОВСЬКИЙ
(ім'я, прізвище)

Виконав:

(підпис)

Нікіта УПИРОВ
(ім'я, прізвище)

КИЇВ – 2024

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. Іван РОГОВСЬКИЙ
(науковий ступінь, вчене звання) (підпис) (ім'я, прізвище)

«_____» _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ
ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ
Упирову Нікіті Юрійовичу
(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 Удосконалення діагностичної матриці Байеса при
діагностування двигунів John Deere
затверджена наказом ректора НУБіП України від «07» грудня 2023 р. № 2223 «С»
Термін подання завершеної роботи на кафедрі _____
(рік, місяць, число)

Вихідні дані до магістерської кваліфікаційної роботи науково-технічна література; результати
науково-дослідних робіт по літературних джерелах удосконалення діагностичної матриці Байеса при
тестовому діагностуванні двигунів John Deere

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Аналіз стану питання досліджень, мета, задачі дослідження
2. Теоретичний розрахунок значень удосконалення діагностичної матриці Байеса при тестовому
діагностуванні двигунів John Deere
3. Методика експериментальних досліджень удосконалення діагностичної матриці Байеса при
тестовому діагностуванні двигунів John Deere
4. Результати експериментальних досліджень, техніко-економічна ефективність виконаних досліджень

Перелік графічного матеріалу Електронна презентація на 14 слайдах

Дата видачі завдання «10» листопада 2023 р.

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи _____ Іван РОГОВСЬКИЙ
(підпис) (ім'я прізвище)

Завдання прийняв до виконання _____ Нікіта УПИРОВ
(підпис) (ім'я прізвище)

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ	5
ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1 ЗАДАЧІ, МІСЦЕ ТА ВИДИ ДІАГНОСТУВАННЯ МАШИН.	8
1.1 Класифікація методів та засобів діагностування	9
1.2 Бортові системи діагностування.	14
1.3 Технічні засоби діагностування машин, які обладнано бортовою системою діагностування	17
1.4 Аналіз можливостей застосування Байєсівського підходу для вирішення проблеми діагностування станів агрегатів сільськогосподарських тракторів	22
2. Математична модель та аналітичне дослідження паливної системи дизельного двигуна	25
2.1 Вибір параметрів діагностування	25
2.2 Формування словника діагностичних ознак	31
2.3 Параметри віброакустичних процесів, які використовуються при діагностуванні	34
2.4 Методи розпізнавання та класифікації кривих віброприскорення	36
2.5 Моделювання паливної апаратури енергетичних засобів сільськогосподарських машин	38
2.6 Методика Байєсівського моделювання	45
РОЗДІЛ 3 ПРОГРАМА ТА МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	49
2.1 Методика планування експериментальних досліджень	49
3.2. Програма та методика визначення рівня вібрацій нагнітального паливопроводу автотракторного дизельного двигуна	53
3.3. Вибір методів збирання та обробки експериментальних даних	59
3.4. реєстрація кривих вібрації за допомогою стенда віброакустичного діагностування «Дельфін – 1М»	73
3.5. Обробка аналогових сигналів на комп'ютері	75
РОЗДІЛ 4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ	78
ВИСНОВКИ	102
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	104

РЕФЕРАТ

Магістерська робота складається з 9 аркушів ілюстративної частини, 88 сторінок пояснювальної записки формату А4. Темою даної роботи є: „Обґрунтування методів діагностування дизельних двигунів за вібраційними параметрами”.

Структура магістерської роботи і послідовність викладу обумовлені метою і завданнями дослідження. Робота складається зі вступу, чотирьох розділів і списку використаної літератури. Об’єм роботи складає 88 сторінок машинописного тексту і включає 28 рисунків, 9 таблиць, 37 літературних джерел.

У магістерській роботі було розроблено байєсівський підхід для швидкого виявлення несправностей під час діагностування дизельних двигунів. Ідея полягає в тому, щоб обчислити ймовірність наявності певних несправностей в системі. Для цього використовується як якісна, так і кількісна інформація. Одним із важливих джерел інформації є «навчальні» дані, які збираються під час тест-драйвів з різними штучними несправностями.

Використання байєсівського підходу для виявлення несправностей для діагностики великих і складних систем може призвести до проблем з обчисленнями та зберіганням. У цій магістерській роботі представлено три пропозиції щодо вирішення цієї проблеми.

Байєсовський підхід до усунення несправностей застосовано до діагностики дизельного двигуна. Дані збираються з реальних умов експлуатації з реалізованими несправностями та використовуються в розрахунках. В експериментах показано, що байєсівський підхід має хороший потенціал для діагностики сільськогосподарських машин і добре справляється із реальною проблемою.

Ключові слова: байєсовський підхід, діагностування, несправність, ймовірність, подія, система.

ВСТУП

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.

Метою роботи є створення надійної в експлуатації автоматизованої діагностичної установки для визначення технічного стану паливної апаратури автотракторних дизелів вдосконаленим віброакустичним методом.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

-виконати детальний аналіз існуючих методів і засобів діагностування паливної апаратури автотракторних двигунів сільськогосподарської техніки (АДСТ), з метою виявлення найбільш раціональних технічних рішень для їх

подальшої реалізації в об'єкті дослідження;

-обґрунтувати вибір параметрів паливної апаратури, від яких залежить технічний дизельних двигунів;

-розробити математичну модель, яка пов'язує діагностичні параметри двигуна з розрегулюваннями паливної апаратури ;

-провести експериментальні дослідження залежності імпульсів в паливопроводі високого тиску АДСТ від несправностей паливної апаратури;

Об'єкт досліджень - робочі процеси системи впорскування палива, що змінюються в процесі експлуатації і впливають на технічний стан автотракторних двигунів.

Предмет досліджень – параметри зміни пульсацій в паливопроводі високого тиску паливної апаратури дизельних двигунів.

Методи дослідження: - теоретичні дослідження робочого процесу паливної апаратури енергетичних засобів сільськогосподарських машин виконані методом математичного моделювання, чисельними методами диференціального і інтегрального аналізу та комп'ютерного моделювання. Застосовані методики базуються на класичних наукових положеннях теоретичної механіки, теорії двигунів внутрішнього згорання, методах математичного аналізу і прикладної математики, методах розпізнавання, а також на результатах проведених наукових досліджень в області моделювання і діагностування паливних систем енергетичних засобів сільськогосподарської техніки.

Експериментальні дослідження проводилися з метою перевірки достовірності результатів теоретичних досліджень, та для формування бази знань для навчання автоматизованої системи діагностування паливних систем енергетичних засобів сільськогосподарської техніки. Натурні випробування та експерименти проводилися електровимірвальним способом із застосуванням сучасних приладів, які мають достатню точність і необхідні частотні характеристики. Для обробки результатів експериментальних досліджень і оцінки їх достовірності використані методи математичної статистики.

РОЗДІЛ 1 ЗАДАЧІ, МІСЦЕ ТА ВИДИ ДІАГНОСТУВАННЯ МАШИН

Діагностування машин дозволяє визначати технічний стан агрегатів, механізмів та систем машин без їх демонтажу або з частковим демонтажем та прогнозувати строки служби складових частин машини. Фактично з'являється можливість керувати технічним станом машини, призначаючи відповідні попереджувальні роботи та виконуючи їх в процесі технічного обслуговування (ТО) та ремонту (Р). Це знижує час простою машини та забезпечує значну економію засобів та ТО та Р. Виконання тільки дійсно потрібних операцій по ремонту та регулюванню скорочує витрату запасних частин та мастильних матеріалів. Так, своєчасне визначення та усунення значних несправностей в системі живлення, агрегатів трансмісії або ходової частини покращує на 5 – 10% паливно-економічні показники, збільшує потужність двигуна, в 2 – 3 рази покращує екологічні показники, підвищує безпеку машини при її роботі.

Основними задачами технічного діагностування є:

- контроль технічного стану для встановлення значень параметрів вимогам технічної документації;
- пошук місця та причин відмови (несправності);
- прогнозування технічного стану.

Технічне діагностування має великий вплив на інтенсивність використання техніки, яке враховується коефіцієнтом готовності. Попередження відмов, їх оперативне усунення різко знижує простої машин за технічними причинами, збільшують їх продуктивність і якість виконання сільськогосподарських операцій, що добре відображається на строках виконання робіт. В зв'язку із підвищенням складності машин застосування діагностування стало необхідним.

Діагностування при ТО виконують з метою виявлення значень параметрів машини, які перевищують допустимі.

Заявочне діагностування проводять при отриманні заявки від механізатора про виявлену при роботі несправність у вигляді незвичайних стуків, перегріву складових частин, зменшення потужності, продуктивності машини, збільшення витрати палива і т.п.

Ресурсне діагностування складових частин та агрегатів здійснюють перед ремонтом з метою визначення його виду. При цьому контролюють ресурсні параметри, граничні значення яких обумовлюють проведення ремонту агрегату. Ресурсними параметрами двигуна є зазори в з'єднаннях гільза-поршень, в корінних та шатунних підшипниках, а також витрата газів, які прориваються в картер.



Рисунок 1.1 – Вплив діагностування машин на виконання сільськогосподарських робіт

Передремонтне діагностування агрегатів та машин виконується перед ремонтом або в процесі ремонту об'єкту. Основний зміст такого діагностування заключається в перевірці стану ресурсних складових частин та зборочних одиниць в агрегаті.

1.1 Класифікація методів та засобів діагностування.

Методи діагностування ділять на дві групи: органолептичні (суб'єктивні) та інструментальні (об'єктивні). Інструментальні методи за характером вимірювання параметрів діляться на прямі (безпосереднє вимірювання) та опосередковані (за діагностичними параметрами) методи.

Органолептичні методи. Органолептичними методами є перевірки технічного стану агрегатів за допомогою органів відчуття людини.

На слух виявляють місця та характер ненормальних стуків, шумів, перебоїв в роботі двигуна, місця збільшення зазорів між клапанами та коромислами механізмі газорозподілу, несправності трансмісії та ходової частини, нещільності і т.п.

Оглядом встановлюють місця підтікання оливи, води, палива, колір відпрацьованих газів і т.п.

На дотик встановлюють місця та ступінь ненормального нагріву, биття, вібрації деталей, в'язкість рідини.

За запахом визначають відказ муфт зчеплення та повороту, витіки палива, електроліту, коротке замикання електропроводки і т.п.

Як показує практика, досвідчені механіки до 70% несправностей та відмов двигунів та інших агрегатів оперативно визначають за допомогою органолептичних методів та найпростіших тестів.

Інструментальні методи. Заміри параметрів технічного стану даними методами роблять за допомогою діагностичних засобів.

За фізичним принципом або процесом інструментальні методи діагностування діляться на енергетичні, пневмогідрравлічні, теплові, віброакустичні, спектрографічні, оптичні і т.п.

Кожен метод призначений для вимірювання певного фізичного процесу. Класифікація за використаним фізичним процесом дозволяє найбільш повно виявити можливості, технічну характеристику відповідного методу діагностування. Процес характеризується зміною фізичної величини за часом; наприклад в основі енергетичного процесу лежать фізичні величини – сила, потужність; пневмогідрравлічного – тиск; теплового – температура; віброакустичного – амплітуда коливань на певних частотах і т.п.

За характером вимірювання параметрів інструментальні методи діагностування машин діляться на прямі та опосередковані.

Прямі методи основані на вимірюванні структурних параметрів технічного стану безпосередньо прямим вимірюванням: зазорів в підшипниках,

прогину ремінних та цепних передач, розмірів деталей і т.п.

Опосередковані методи основані на визначенні параметрів технічного стану агрегатів машин за діагностичними (опосередкованими) параметрами. Ці методи основані на вимірюванні значень безпосередньо фізичних величин, які характеризують технічний стан механізмів, систем та агрегатів машин: тиску, перепаду тиску, температури, перепаду температури в робочому тілі системи, витрати газів, палива, оливи, параметрів вібрації складових частин машини, прискорення при розгоні двигуна і т.п.

Кінематичний метод діагностування оснований на вимірюванні відносного переміщення деталей, зміни їх відносного положення, мікрогеометрії деталей. Він включає в себе контроль зазорів в кінематичному ланцюгу, радіальних, торцевих та кутових переміщень валів механізмів, несоосності та непаралельності.

Кінематичний метод використовується при контролі зазорів в підшипникових вузлах, в зубчатих передачах та шліцевих з'єднаннях, в механізмі газорозподілу двигуна внутрішнього згорання, в кривошипно-шатунному механізмі, в рульовому керуванні, в механізмах керування муфтою зчеплення та гальмами. Цей контроль проводиться при непрацюючому двигуні і, як правило без розбирання механізмів. Метод достатньо простий для практичного застосування.

Зміна сумарних зазорів в кінематичному ланцюгу механізму в залежності від наробітку узгоджується з класичною кривою процесу спрацювання, яка складається з періодів приробітку, нормального та аварійного спрацювання. Сумарний зазор безпосередньо залежить від спрацювання усіх з'єднань, які входять в кінематичний ланцюг механізму, який контролюється, і тому є узагальненим діагностичним параметром.

Технічна реалізація кінематичного методу не складна. Як зазвичай використовують відомі засоби лінійних та кутових вимірювань (індикатори годинникового типу, кутоміри, щупи). Для забезпечення необхідної точності надійно закріплюють засіб вимірювання на базовій (нерухомій) деталі, наприклад, на корпусі механізму.

В процесі вимірювання рух рухомої деталі (наприклад, валу) повинен здійснюватися з зусиллям, які не приводять до пружних деформацій. Зусилля повинно бути постійним при повторних вимірюваннях.

Кінематичний метод дозволяє оцінити такі дефекти деталей як спрацювання та деформації, порушення посадок та жорсткості їх з'єднань. Такі дефекти найбільш часто зустрічаються в механічних системах. Тому кінематичний метод є одним з основних методів діагностування механічних систем.

Технічна реалізація цього методу нескладна. Але обґрунтування допустимих та граничних значень діагностичного параметру, наприклад сумарного зазору, проводять з урахуванням різної швидкості спрацювання окремих з'єднань, які входять в кінематичний ланцюг. Для цього необхідно отримати достатній статистичний матеріал про закономірності зміни зазорів в з'єднаннях та вірогідності їх спільних сполучень.

Віброакустичний метод діагностування оснований на реєстрації параметрів пружних коливань, які виникають в механізмах при співударі деталей під час функціонування. Пружні коливання, які називають структурним шумом на відміну від повітряного шуму, розповсюджуються по корпусу механізму. При діагностуванні вони фіксуються датчиками, які перетворюють механічні коливання в електричні сигнали. Це, як правило, п'єзоелектричні перетворювачі прискорення. Датчики встановлюють на корпус механізму.

Енергія удару і, відповідно, амплітуда віброімпульсів, які формуються при ударі, залежать від зазору між спряженими деталями. При збільшенні зазору зростає швидкість в момент удару. За величиною амплітуди сигналу, моменту (фазі) його появи та частоті опосередковано оцінюють величину зазору, тобто в якості діагностичних параметрів використовуються амплітудно-фазові параметри та несуча частота сигналів, яка генерується датчиком. Електричні сигнали обробляються та аналізуються відповідною апаратурою.

Метод є універсальним, може бути використаний для оцінки стану різних механізмів та з'єднань, в яких виникають зіткнення деталей (підшипники кочення та ковзання, зубчасті передачі, шліцьові з'єднання,

кривошипно-шатунний механізм, механізм газорозподілу, кулачкові механізми, форсунки дизельних двигунів, в яких співударяються деталі розпилувача і т.п.).

Але віброперетворювач сприймає результуючі коливання, які поступають практично від усіх з'єднань механізму одночасно. Тому при віброакустичному діагностуванні складною задачею є розділення сигналів та виділення сигналу від з'єднання яке перевіряється. Використовують наступні способи селекції (розділення) сигналів: частотний, часовий та амплітудний.

Багато різних методів здійснюють на основі перетворення механічних величин в електричні із застосуванням електронних діагностичних приладів та пристроїв.

Діагностування має свої особливості при використанні машин та проведенні їх ТО та Р. В процесі використання машин технічний стан агрегатів в основному контролюють по вмонтованим приладам для вимірювання тиску в системі мащення, температури охолодної рідини в двигуні та іншим приладам. Використовують також органолептичні методи діагностування, в першу чергу по ненормальному стуку, шуму, скреготінню в механізмах машини, зменшенню потужності двигуна, зменшенню продуктивності машини, важкому пуску двигуна, за димному вихлопу відпрацьованих газів.

Пневматичні методи діагностування основані на оцінці герметичності замкнених порожнин різних пристроїв: паливних баків, радіаторів, з'єднань трубопроводів, камери згоряння та циліндро-поршневої групи ДВЗ.

Пневматичні методи прості та доступні, реалізуються на базі простих технічних засобів (манометри, вакуумметри, диференціальні манометри, пневматичні калібратори, індикатори герметичності і т.п.).

Засоби діагностування. Розповсюджені переносні, пересувні та стаціонарні комплекти діагностичних засобів. Більше всього діагностичних приладів та їх комплектів існує для контролю двигунів внутрішнього згоряння, оскільки двигун – найбільш складний агрегат машини.

1.2 Бортові системи діагностування.

Кількість електронних блоків, виконавчих механізмів, датчиків в мобільних машинах неупинно зростає, що істотно ускладнює контроль їх технічного стану, пошук та усунення несправностей. В той же час в розробників техніки з'являється можливість, інтегрувавши систему електрообладнання ПЕОМ, яка б аналізувала сигнали, які крізь неї проходять і могла б опосередковано або напряду оцінювати роботу здатність вузлів мобільних машин. Це послужило передумовою створення нової системи яка отримала назву бортова система діагностування.

В більшості електронних систем сучасних машин реалізована бортова система діагностування, яка включає в себе активне і пасивне діагностування. Активне діагностування припускає проведення різних тестових операцій, пасивне – проводиться шляхом збору інформації про стан блоків керування, датчиків та виконуючих механізмів систем з фіксацією розпізнаних помилок.

Робота бортової системи діагностування основана на безперервній перевірці справності основних електричних ланцюгів, аналізі відгуку основних пристроїв на тестові сигнали, вимірювання сигналів в певних точках системи і порівняння їх з еталонними (рис. 1.2).

Бортова система діагностування здійснює:

- ідентифікацію системи та блоків керування;
- контроль вхідних та вихідних сигналів;
- контроль передачі даних та внутрішніх функцій блоку керування;
- зчитування, розпізнавання та зберігання інформації про похибки;
- зчитування поточних реальних даних;
- програмування параметрів та моделювання функцій системи;
- узгодження роботи між електронними блоками.



Рисунок 1.2 – Функції бортової системи діагностування

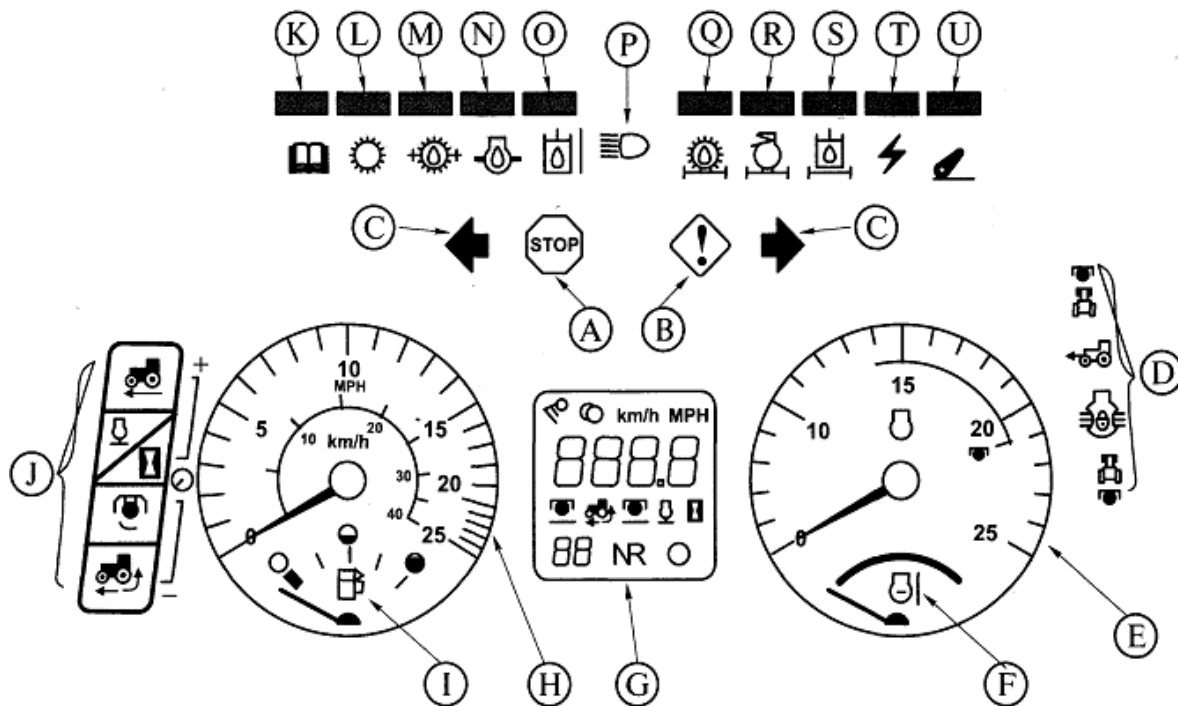


Рисунок 1.3 – Аналоговий монітор трактора John Deere серій 7610, 7710 та 7810

Сучасні тенденції розвитку бортової системи діагностування характеризується збільшенням кількості сигнальних вказівок за рахунок введення нових датчиків та алгоритмів діагностування та розвитком діагностичного контролю через систему попереджувальної сигналізації.

Широке використання системи попереджувальної сигналізації з достатньо розвиненими можливостями вже спостерігається в практиці сільськогосподарського машинобудування. Наприклад, на багатьох моделях комбайнів механізатор має можливість постійно контролювати стан елементів приводу та робочих механізмів жатки, молотильного апарату, двигуна, трансмісії, витрату палива, втрати та вологість зерна інші параметри і у відповідності з отриманою інформацією задавати найбільш раціональні режими роботи того або іншого агрегату. Інформація про роботу найбільш важливих систем виводиться на сигнальне табло, яке встановлене в кабіні керування (рис. 1.2).

Крім системи попереджувальної сигналізації сучасні мобільні машини обладнані вмонтованою бортовою системою діагностування. Така система дозволяє проводити безперервний моніторинг вузлів та агрегатів, за допомогою спеціальних алгоритмів виявляти відхилення в їх роботі, фіксувати ці похибки в пам'яті системи у вигляді певних діагностичних кодів несправності (ДКН) та при необхідності виводити їх на екран.

Доступ до діагностичних кодів несправності проводиться в певній для кожної моделі послідовності та визначається можливостями бортової системи діагностування.

Однією з особливостей бортової системи діагностування є максимальне використання інформації яка отримується з датчиків. При необхідності розширення функцій само діагностування є можливість ввести додаткові датчики, які можуть бути адаптовані в електронну систему керування.

Необхідно також відмітити, що поряд з вмонтованою системою діагностування отримали розповсюдження і так звані встановлювані технічні засоби діагностування (УТЗД), які відрізняються конструктивним виконанням засобів обробки, зберігання та виведення інформації та призначені для машин,

які не мають бортового діагностування, або з системою діагностування з обмеженими функціями. Такі системи виконуються у вигляді легкознімаємого модуля, який періодично встановлюється на машину і після певного проміжку часу експлуатації демонтується. Застосування таких блоків дозволяє діагностувати машину на різних робочих режимах, в тому числі і під навантаженням.

1.3 Технічні засоби діагностування машин, які обладнано бортовою системою діагностування.

1.3.1 Класифікація засобів діагностування.

Вмонтовані (бортові) системи технічного діагностування (СТД) включають в себе датчики, пристрої вимірювання, мікропроцесори та прилади відображення інформації. Зовнішні СТД, які не входять в конструкцію машини, в залежності від їх будови та технологічного призначення можуть бути стаціонарними або переносними. Існує багато фірм – виробників зовнішніх СТД машин, які обладнані бортовою системою діагностування: Bosch, AVL, Snap-ON, Bear, Alen, MATCO, Sun Electric, Vetronix та інші.

Технічні засоби діагностування можуть включати в себе в різних комбінаціях наступні основні елементи:

- датчики, які сприймають діагностичні параметри та перетворюють їх в сигнал, який є зручним для обробки або безпосереднього використання;
- пристрої, які дозволяють зчитувати дані з блоків керування машиною, двигуном, робочими органами та агрегатами;
- вимірювальні пристрої та модулі;
- пристрої, які задають контрольні тести або тестовий режим;
- кабелі – адаптери та перехідники;
- комп'ютери з відповідним програмним забезпеченням;
- пристрої відображення результатів.

Як правило, однією діагностичною установкою діагностується та

визначається робото здатність зразу кількох систем машини. Зовнішні діагностичні пристрої по функціональним можливостям можливо умовно поділити на три групи.

Сканер є сучасним багатофункціональним діагностичним пристроєм, який використовується для виявлення і усунення несправностей електронної системи керування, виконуючих механізмів та датчиків шляхом доступу до внутрішньо системної інформації. Інші діагностичні засоби мають доступ тільки до зовнішніх вхідних та вихідних сигналів різних вузлів машини.

Сканер, через спеціальний діагностичний роз'єм підключається до мікроконтролера і має можливість отримувати інформацію від датчиків. Методика проведення діагностичних дій та номенклатура параметрів, які визначаються, залежить від моделі сканеру та відповідного до нього картриджу. Найбільш широко ці прилади використовуються при діагностуванні двигунів з електронним керуванням.

Однією з найбільш корисних можливостей сканера є записування даних в його електронну пам'ять під час випробувань. Потім ці дані можуть бути виведені на дисплей для аналізу.

Можливості сканерів обмежені. Діагностування машини здійснює не сканер, а людина. Щоб правильно інтерпретувати інформацію, яка отримана з сканера, необхідно добре розуміти роботу вузлів машини та сутність діагностичних процедур. Необхідно також мати на увазі, що сканер може видавати аварійні значення параметрів як штатні, так як не на всіх моделях машин повний об'єм інформації доступний сканеру.

Сканер перевіряє вхідні та вихідні параметри електричних ланцюгів і інформує оператора про їх значення. Таким чином, сканер лише фіксує наявність або відсутність несправностей в будь-якому вузлі, але не дозволяє визначити причини несправності, яких може бути багато для одних і тих же значень параметрів, які контролюються.

Системний тестер (або системний сканер) – це стаціонарний або портативний комп'ютерний тестер, призначений для діагностування різних електронних систем керування за допомогою зчитування цифрової інформації

по лінії послідовного інтерфейсу діагностичного роз'єму. В системному сканері передбачені всі функції сканера, розширені наступними можливостями (функція мультиметра, розгортання за часом і. т.п.). На відміну від сканеру в системному тестері використовується в кілька разів більше інформації і даних по процесу діагностування різних машин. При цьому ця інформація може періодично обновлюватися через інсталяцію з комп'ютерних дисків виробників.

Процес діагностування може починатися з виклику керівництва по пошуку несправностей системи інформації сервісу та зчитування з пам'яті несправностей в блоці керування роботою двигуна. Результати діагностування можуть сприйматися безпосередньо системою електронної обробки у відділенні сервісної станції для формування бази даних.

Широке використання на підприємствах автосервісу отримали системні тестери фірми Bosch серії KTS (рис. 1.4).



Рисунок 1.4 – Діагностичний сканер фірми Bosch серії KTS

Ці сканери дозволяють провести якісне діагностування двигунів більшості марок тракторів та комбайнів. Для діагностування інших спеціалізованих вузлів (гідравлічних систем, трансмісії, робочого обладнання) частіше всього необхідно використовувати дилерський системний тестер.

Найбільш широкі можливості мають спеціалізовані системні тестери, які використовуються сервісною мережею того або іншого виробника. Головні переваги таких тестерів – спеціалізація на моделях одного виробника, висока ціна та можливість купити їх тільки на дилерських умовах (рис. 1.5).

Мотор-тестер (МТ) – універсальний прилад, який відноситься до

«фундаментальних» засобів діагностування і використовується для комплексного діагностування машини, двигуна і його систем.



Рисунок 1.5 – Сканер John Deere EDL

В мотор-тестері можливості системного сканера істотно доповнені наступними: є можливість одночасного вимірювання великої кількості електричних сигналів в любых електричних ланцюгах, включаючи високовольтні та відображення цих сигналів в режимі осцилографа; проведення тестових випробувань; вимірювання не електричних сигналів (тиск палива, оливи, повітря та інші); аналіз складу відпрацьованих газів.

Мотор-тестер, як правило виконується на базі персонального комп'ютера і може бути стаціонарним, консольним або портативним. В стойку МТ вмонтовується багатокomпонентний газоаналізатор, спеціальний модуль-аналізатор двигуна, який збирає та обробляє інформацію за допомогою цілої групи датчиків, які з'єднані з поворотною консолью. При тестуванні МТ збирає, обробляє і виводить на екран інформацію за результатами випробувань на різних режимах: прокрутка стартером, робота на кількох швидкісних режимах, режим різкого прискорення, режим балансу потужності (відключення циліндрів). За результатами тестування можна отримати інформацію про відносну компресію в циліндрах, параметрах системи запалення, стартерному току, складу відпрацьованих газів і т.п. Найбільш затребуваною функцією МТ є можливість імітувати сигнали різних датчиків (лямбда-зонд, витратомір

повітря, датчики температури і т.п.) і за рахунок цього фактично відключати з роботи в процесі діагностування підозрілі елементи з системи. Це дозволяє перевірити роботу здатність датчиків і якість електричних з'єднань без відключення їх від машини та діагностувати несправності, які раніше приходилося локалізувати тільки методом пробної заміни деталей. Програмне забезпечення МТ дозволяє фіксувати сигнали в електронних та електричних автомобільних системах як функції току або напруги, проводити пряме порівняння вимірних сигналів з базами еталонних значень. В числі з однією з останніх розроблених функцій МТ – фізичний тест проходження сигналу по шині CAN. Принцип гнучкого побудування дозволяє легко адаптувати МТ під нову техніку. Це здійснюється записом необхідної інформації в пам'ять системного блоку, при цьому апаратна частина залишається незмінною.

Із закордонних розробок можна відмітити діагностичні прилади фірми Bosch FSA 740 та FSA 560 з однотипними функціями (рис. 1.6).



Рисунок 1.6 – Діагностичний мотор-тестер Bosch FSA 740

1.4. Аналіз можливостей застосування Байєсівського підходу для вирішення проблеми діагностування станів агрегатів сільськогосподарських тракторів

Для задоволення зростаючих вимог до надійності, зручності, економічності та безпечності сільськогосподарських машин необхідно виявляти несправності на початкових етапах експлуатації [1-13]. Для задоволення цих потреб використовуються комп'ютерні системи на основі датчиків. Неповна інформація діагностики, перешкоди та помилки призводить до неякісних показників діагностики. Існує чотири основні проблеми діагностики:

- Як визначити обсяг «всієї необхідної інформації» і як вона перетворюється в корисну;
- Як вибрати розподіли ймовірностей для обчислень і як знайти залежностями між вхідними величинами і результатом діагностики;
- Як обробляти інформацію, якщо по деяким несправностям доступна лише обмежена кількість даних;
- Зростанням кількості інформації потребує зростання оперативної пам'яті.

Є багато способів вирішення проблеми невизначеності та ймовірності. Одним із перспективних способів є байєсівське моделювання. Під цим терміном слід розуміти опис явищ в байєсівських рамках тобто зі змінними, які описуються розподілом ймовірностей, а також зв'язками та залежностями між змінними. Вивчення даних моделей є доволі складним завданням, оскільки реальний світ складний і може містити приховані залежності та незвичний розподілу. Важливою проблемою при моделюванні є питання визначення попередніх ймовірностей.

Ідея використання Байєсівського підходу (Bayesian) [14 – 19] полягає в тому, щоб обчислити ймовірність наявності певних несправностей в системі.

Для цього використовується як якісна, так і кількісна інформація. Наприклад, можна використовувати знання про ймовірність різних несправностей та інформацію про поведінку яку слід очікувати під час спостережень коли присутні різні несправності. Одним із важливих джерел інформації є навчальні дані, які збираються під час тест-драйвів з різними усунутими несправностями.

Головною перевагою байєсівських методів [14], є можливість поєднання інформації з різними характеристиками. Це полегшує ізоляцію несправностей з яких доступна лише розпливчата інформація і не потрібна явна модель системи, що діагностується (її можна використовувати якщо вона є). Крім того, байєсівський підхід дозволяє діагностувати раніше невідомі несправності, про які взагалі немає інформації. У поєднанні з теорією прийняття рішень, байєсівська теорія ймовірності є інструментом для визначення найкращих дій для зменшення наслідків несправності [16].

Використання байєсівського підходу для виявлення несправностей для діагностики великих і складних систем може призвести до проблем з обчисленнями та зберіганням [18]. Нами запропоновано три варіанта щодо вирішення цих проблем. По-перше було помічено, що групи несправностей можуть мати однакову ймовірність. Такі несправності можна розрізнити лише за попередньою ймовірністю. Групуючи ці несправності за класами еквівалентності, кількість необхідних обчислень можна зменшити без втрати ефективності діагностики. По-друге, використовуючи структуру обчислень, зазначається, що базові розподіли можуть зберігатися дуже ефективно. За певних, не дуже рестрикційних, припущень спосіб зберігання значно зменшує необхідну ємність. Нарешті, якщо попередні два спрощення не є достатніми було показано, що проблему можна апроксимувати, розділивши її на безліч підзадач за допомогою байєсівських методів. Кожну з цих підзадач можна вирішити за допомогою представлених методів.

Нами запропоновано методи інтеграції додаткової інформації, такі як знання про ті помилки, які фактично впливають на кожне спостереження.

Показано, що інформація, яка використовується в більш традиційних алгоритмах ізоляції (напр. метод структурованих залишків та алгоритм Шерлока) можна перевести в імовірнісні терміни.

Висновок по розділу 1

Застосування Байєсівського методу для діагностики складних машин дасть можливість поєднати інформацію про об'єкт з різними характеристиками. Це полегшує ізоляцію несправностей, з яких доступна лише розпливчаста інформація. Крім того, байєсівський підхід дозволяє діагностувати раніше невідомі несправності, про які взагалі немає інформації. У поєднанні з теорією прийняття рішень, байєсівська теорія ймовірності є інструментом для визначення найкращих дій, які слід виконати для зменшення наслідків несправності.

РОЗДІЛ 2 МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ТА АНАЛІТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПАЛИВНОЇ СИСТЕМИ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГУНА.

2.1. Вибір параметрів діагностування.

Система живлення – одна з найбільш відповідальних та складних в дизельному двигуні. На долю цієї системи припадає від 25 до 50% усіх несправностей, які трапляються на тракторних двигунах.

На робочий процес дизельних двигунів великий вплив має стан повітряних фільтрів. Із збільшенням строку роботи двигуна змінюються характеристики роботи повітряних фільтрів (коефіцієнт пропускання абразивних частинок та опір). Причини такої зміни – забруднення фільтруючих елементів, а також рівня масла в піддоні. Збільшення опору викликає ріст розрідження у впускному колекторі, та знижує ступінь наповнення циліндрів повітрям та, як наслідок, потужність та економічність двигуна.

Велика кількість можливих несправностей двигуна пов'язано з несправностями паливної апаратури та її роз регулюваннями. Усі ознаки порушення робочого процесу двигуна (важкий пуск, перебої в роботі, димність, зниження потужності та економічності) можуть бути наслідком несправностей паливної апаратури.

Спрацювання прецизійних пар паливного насосу впливає на циклову подачу палива. На основі результатів дослідження встановлено наступний вплив спрацювання плунжерних пар на подачу палива:

- спрацювання плунжерних пар значно знижує продуктивність;
- найбільші втрати годинної витрати палива мають місце на пускових обертах (150 – 200 об/хв.) та складають 70-73% від подачі нових плунжерних пар;
- зі збільшенням обертів перетікання палива в спрацьованих плунжерних парах зменшується, однак і при нормальних обертах воно на 35% менше ніж у насосі з новими парами;

- на пускових обертах втрати настільки великі, що неможливо запустити двигун.

Якщо насос з новими плунжерними парами має нерівномірність подачі на пускових обертах 7%, то при спрацьованих плунжерних парах вона може збільшитися до 63%.

При спрацюванні зазору в спряженні розвантажуючий поясок – отвір гнізда клапану спостерігається більш інтенсивне зростання подачі палива зі збільшенням обертів кулачкового валу насосу. Це пояснюється збільшенням залишкового тиску в паливопроводах високого тиску внаслідок недостатнього розвантажуючого ефекту клапану від спрацювання розвантажуючого пояска. При цьому процес впорскування палива форсункою розтягується (замість різкої відсічки) і паливо підтікає крізь розпилювач форсунки. Паливо при цьому згоряє не повністю, двигун димить, зменшується його економічність, а розпилювачі закоксовуються і втрачають здатність працювати.

За технічними умовами при нормальних обертах та повній подачі палива допускається нерівномірність 4%, тоді як спрацьовані клапани дають ступінь нерівномірності 16,4%.

Спрацювання кулачків вала паливного насоса, штовхачів, плунжерів, зубів розподільчих шестерень та інших деталей призводить до поступового відхилення кута випередження подачі палива в сторону запізнення, що порушує нормальний робочий процес: паливо догоряє в такті розширення, збільшується температура відпрацьованих газів та змінюється тепловий режим роботи двигуна, частина палива викидається з відпрацьованими газами.

При великому збільшенні кута випередження подачі палива збільшується жорсткість роботи двигуна. При цьому зменшується потужність і збільшується витрата палива.

Спрацювання деталей регулятора викликає зниження частоти обертів колінчатого валу та, як наслідок потужність та економічність, двигуна.

При експлуатації в новій форсунці інтенсивно припрацьовуються торцеві поверхні хвостовика голки, штанги, пружини та регулювального гвинта. Циклічні навантаження нової пружини приводять до зменшення її

довжини у вільному стані. Після відпрацювання 150 ... 200 мотогодин інтенсивність припрацювання деталей знижується, стабілізується жорсткість та довжина пружини у вільному стані. Це приводить до того, що у нових форсунок за цей час роботи тиск початку впорскування знижується на 3,5...5,0 МПа, що викликає зниження основних параметрів впорскування. При цьому істотно зменшується потужність двигуна та його економічність.

Спрацювання поверхонь запірних конусів корпусу та голки розпилювача, верхнього торця голки із сторони хвостовика приводить до збільшення ходу голки, а як наслідок, часу попадання циліндрових газів в порожнину розпилювача.

На збереження роботоздатності паливної апаратури великий вплив має якість очищення палива паливними фільтрами. При цьому притерті частини паливної апаратури спрацьовуються і збільшуються втрати палива від його перетікання, зменшується потужність та погіршується економічність роботи двигуна.

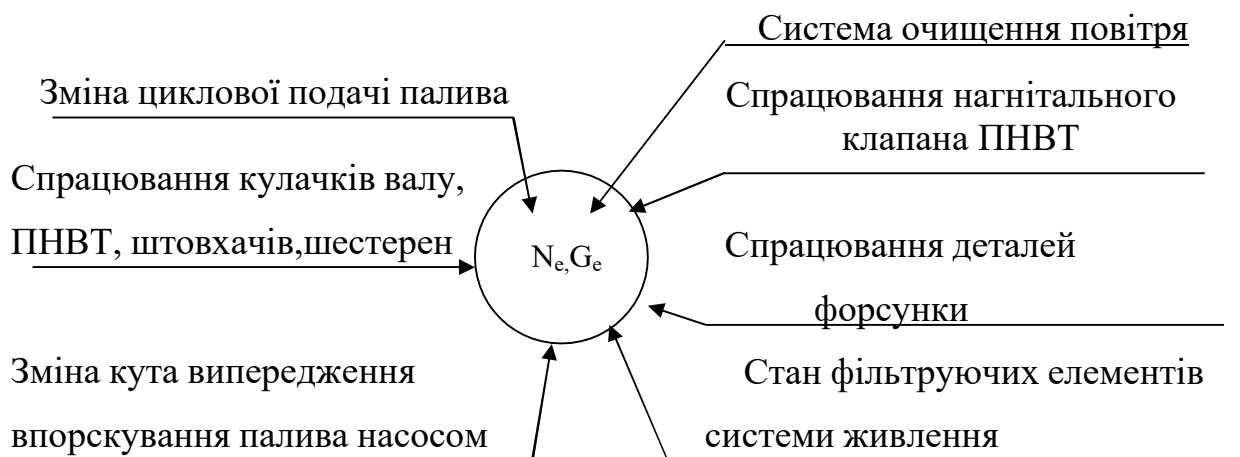


Рисунок 2.1 – Фактори, які впливають на зміну потужності та економічності двигуна.

Під час експлуатації іноді спостерігаються випадки заклинювання плунжерних пар. При цьому рейка втрачає рухливість і частота обертання колінчастого валу двигуна збільшується (двигун може йти “в рознос”).

Перелік основних несправностей паливної апаратури, що впливають на

потужність двигуна наведено на рис.2.1.

Дизель – складна технічна система. На робочий процес, що протікає в циліндрах впливає велика кількість параметрів різних систем (живлення, мащення, охолодження). Взаємозв'язок між виконанням ними своїх функцій та справністю складових частин можуть бути представлені у вигляді таблиці. Складемо таку таблицю для несправностей паливної апаратури (таблиця 2.1).

Таблиця 2.1 - Ознаки зміни робото здатності дизельних двигунів.

Можливі несправності паливної системи дизельного двигуна (узагальнені признаки)	Якісні признаки зміни робото здатності дизеля										
	При пуску		Характер роботи		Характер випуску			Супутні признаки			
	Не пускається	Важкий пуск	Нерівномірна робота	Перебої в роботі	Чорний дим при будь-якій частоті обертання	Чорний дим при ном. Частоті	Білий дим	Стуки	Самовільна зупинка	Не забезпечується ном. потужність	Велика витрата палива
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1. Підсмоктування повітря в систему паливоподачі	1	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0
2. Вода в паливі	1	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0
3. Порушення параметрів впорскування палива форсунками	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1

Продовження таблиці. 2.1

4. ПНВТ не забезпечує робочий тиск впорскування при пуску двигуна	1	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0									
5. Понижений тиск палива, яке подається до ПНВТ	1	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0									
6. Кут початку подачі палива:	1	1	0	0	1	0	0	1	0	1	1									
- менше номінального			0	0	0	0	0	1	0	1	1									
- більше номінального																				
7. Нерівномірність подачі палива секціями ПНВТ	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0									
8. Максимальна подача палива ПНВТ:	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1									
- збільшена												0	0	0	0	0	0	0	1	0
- знижена																				
9. Забруднені паливопроводи або забірник в паливному баці.	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0									
10. Забруднення фільтруючих елементів	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0									
11. Поломка пружин штовхачів ПНВТ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0									
12. Поломка пружин або негерметичність нагнітальних клапанів	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0									
13. Зависання плунжера ПНВТ	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0									
14. Спрацювання плунжерної пари	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0									
15. Регулятор	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0									
16. Ослаблення кріплення зубчатого вінця втулки плунжера ПНВТ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0									

В цій таблиці показаний взаємозв'язок несправностей та якісних ознак порушення роботоздатності. Якщо між ними є взаємозв'язок, то ставиться 1, а якщо взаємозв'язку не спостерігається, то ставиться 0. Такі таблиці можуть застосовуватися для визначення мінімальної кількості перевірок на другому етапі діагностування. Для цього потрібно використовувати наступні рекомендації:

1. При виявленні визначеного якісного признака порушення робочого процесу опитуванням механізатора або перевіркою роботи двигуна на різних режимах потрібно встановити наявність усіх можливих ознак, які вказані в графах 2 – 12 таблиці 2.1.

2. З обліком встановлених якісних ознак порушення роботоздатності дизеля потрібно виявити мінімальне число можливих порушень роботоздатності його систем або механізмів, вказаних в графі 1 таблиці 2.1, застосовуючи правило: розглядати тільки такі можливі порушення роботоздатності складових частин, які пов'язані зі всіма з виявлених якісних ознак або найбільшим їх числом.

Використаємо таблицю 2.1 для виявлення найбільш впливової деталі на роботоздатність дизеля. Після підрахунку кількості одиниць по горизонтальним лініям можна побачити, що на долю ПНВТ припадає 30 несправностей, форсунки – 8, води в паливі – 6, підсмоктування повітря – 5, понижений тиск палива до ПНВТ – 5.

Основні причини появи несправностей трансмісії – їх розрегулювання, негерметичність картерів, порушення режимів мащення, а також спрацювання та збільшення зазорів, які визначають істотне збільшення ударних навантажень в кінематичних парах та підшипниках трансмісії.

Зубчаті зачеплення та шлицеві з'єднання складають більшу частину робочих поверхонь деталей трансмісії. Нормальна робота здатність зубчатої передачі зберігається на протязі тривалого періоду, якщо забезпечені зачеплення на всю ширину зуба шестерні, безшумне введення в зачеплення пар шестерень, які переключаються, правильне їх взаємне розміщення, нормальні зазори в підшипникових опорах валів або блоків шестерень. На роботоздатність зубчатих передач може також впливати стан інших механізмів. Так, спрацювання бокових поверхонь вилок переключення приводить до неповного зачеплення шестерень, збільшенню питомого навантаження на зуби, їх спрацювання на конус, викрошування.

По мірі спрацювання зубів та шлицевих з'єднань збільшуються бокові зазори в зачепленнях, що супроводжується ростом ударних навантажень при

коливанні тягового зусилля. Збільшення зазорів знаходять без розбирання по сумарному боковому зазору в кінематичній ланці при різних комбінаціях включення передач та фіксації деталей, що обертаються. Цей параметр носить узагальнюючий характер, однак він ефективний як одна з ознак, по якій в комбінації з іншими ознаками можна зробити висновок про стан агрегатів.

Спрацювання поверхонь обойм та тіл кочення веде до збільшення осьового та радіального зазорів підшипників. Осьові зазори в конічних роликівих підшипниках регулюють зміщенням однієї обойми відносно іншої. Підшипники які не регулюються, при збільшенні зазору, більш допустимого значення заміняють.

Несправності карданних передач визначають по спрацюванні карданних підшипників та хрестовин, а також спрацюванням деяких складових частин проміжних опор.

2.2 Формування словника діагностичних ознак.

При побудові реальних систем розпізнавання (в тому числі і систем діагностування) виникає питання про розміри словника діагностичних ознак. Якщо зафіксувати розміри словника при знаків, то розширення алфавіту класів приводить до зменшення достовірності розпізнавання. Розширення ж словника при знаків, хоч і приводить до збільшення достовірності розпізнавання, але потребує збільшення затрат ресурсів на реалізацію системи.

Якщо признаки $u_j, j = 1, \dots, n$ статистично незалежні, та якщо $P(a) \geq \varepsilon > 0$, де a_v - подія, яка полягає в тому, що на деяких інтервалах значення признака u_j відрізняється від нуля тільки одна функція $p(u_j), j = 1, \dots, m$, то:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \left\{ P \left(\begin{matrix} n \\ \sum_{v=1}^m a_v \end{matrix} \right) \right\} = 1,$$

тобто при необмеженому збільшенні інформації що використовується в загальному випадку досягається вірогідне розпізнавання. З іншої сторони, при даному розмірі словника ознак зменшення алфавіту при знаків також збільшує

вірогідність рішень. Тому, при розробці системи технічного діагностування необхідно враховувати які класи технічного стану механізму необхідно включати в алфавіт діагностичних ознак. При цьому необхідно врахувати наступне: ознаки повинні однозначно бути пов'язані зі станом об'єкта і утворювати достатню систему для забезпечення достовірного діагнозу. Необхідно вибирати такі ознаки, які дозволяють визначити дефекти на ранніх етапах їх розвитку. Ознаки повинні забезпечувати необхідну глибину діагнозу, одночасно не ускладнюючи його процедуру та не збільшуючи затрати на засоби діагностування.

Формування словника діагностичних ознак звичайно проводиться кількома етапами. На першому етапі утворюється апріорний словник ознак, який уточнюється на наступних етапах. Робочий словник діагностичних ознак формується з урахуванням їх інформативності та обмежень на ресурси.

Загальний підхід до вибору словника діагностичних ознак може бути вирішений наступним чином. Нехай заданий алфавіт класів $W = \{W_1, \dots, W_m\}$, та визначений апріорний словник ознак $U = \{u_1, \dots, u_n\}$. Введемо додаткову

величину $\lambda_i = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}$. Якщо $\lambda_i = 1$, то признак u_j використовується в робочому

словнику ознак, а якщо $\lambda_i = 0$, то ця ознака не використовується в робочому словнику. В якості міри близькості між станами всередині класу W_q будемо розглядати величину:

$$S(W_q) = \left[\frac{2}{k_q} \frac{1}{k_q - 1} \sum_{k=1}^{k_q} \sum_{l=1}^{k_q} \sum_{j=1}^n \lambda_f (u_{qk}^j - u_{ql}^j)^2 \right]^{1/2},$$

а в якості міри близькості між станами даної пари класів будемо розглядати величину:

$$S(W_q, W_p) = \left[\frac{2}{k_q} \frac{1}{k_p} \sum_{k=1}^{k_q} \sum_{l=1}^{k_p} \sum_{j=1}^n \lambda_f (u_{qk}^j - u_{pl}^j)^2 \right]^{1/2}.$$

Величина $S(W_q)$ - середнє квадратичне розкидання станів всередині

класу, а $S(W_q, W_p)$ - середнє квадратичне розкидання стану класів W_p та W_q , u^j

- діагностична ознака k -го стану q -го класу.

Будемо рахувати, що вимірювання j -ї ознаки має затрати c_j ресурсів, і при цьому справедливо, що загальні затрати:

$$C = \sum_{j=1}^n c_j.$$

Нехай для реалізації системи діагностування виділена величина ресурсів C_0 і при цьому:

$$C = \sum_{j=1}^n c_j > C_0.$$

При цих умовах вибір робочого словника діагностичних ознак зводиться до рішення наступної задачі оптимізації. Необхідно в межах C_0 , тобто дотримуватися обмеження виду:

$$C = \sum_{j=1}^n \lambda_j c_j \leq C_0,$$

знайти таку множину ознак $\{u_{j_1}, \dots, u_{j_n}\}$ множини $U = \{u_1, \dots, u_n\}$, яка забезпечує екстремальне значення критерію ефективності системи діагностування, в якості якого можливо використовувати величину:

$$R = \frac{S^2(W_q, W_p)}{S(W_q)S(W_p)}.$$

Легко помітити, що чим більша середня квадратична відстань між класами і чим менша середня квадратична відстань всередині класу, тим ефективність системи вище. Очевидно, що найбільш корисними ознаками є ті,

які інваріантні до зміни всередині класу, але різко змінюються при переході від одного класу до іншого. В віброакустичній діагностиці найбільш інформативними є такі характеристики, які мало змінюються від експерименту до експерименту при одних і тих же параметрах технічного стану, тобто мають мінімальну дисперсію при умовах, що середні значення цих при знаків для різних дефектних станів достатньо відрізняються один від одного.

В якості діагностичних ознак вибираємо зміну амплітудно-частотної характеристики кривої віброприскорення блок-картеру автотракторних дизелів в залежності від несправностей паливної системи [6].

2.3 Параметри віброакустичних процесів, які використовуються при діагностуванні.

Вибір інформативних діагностичних ознак в системах віброакустичного діагностування пов'язаний з характером утворення звука в механізмі та із структурою акустичного сигналу. Тому важлива роль, у віброакустичному діагностуванні відводиться формуванню сигналу.

Більш чим інші, розроблені детерміновані моделі, в яких процеси коливання представляються періодичними функціями, які обумовлені обертанням та періодичними ударами елементів механізму. Інформативними діагностичними признаками тут є амплітуда, тривалість та момент появи імпульсів, а також частота, амплітуда та фаза гармонічного сигналу. Такі моделі дають точні результати для машин з низькою частотою обертання з невеликою кількістю джерел збудження коливань.

В самих найпростіших випадках діагностування можна здійснювати, вимірюючи середній квадратичний рівень віброакустичного сигналу, оскільки потужність його пропорціональна кінетичній енергії взаємодії деталей. Найбільш часто, в цих випадках використовують енергетичний спектр, який дає інформацію про зміну амплітудно-частотної характеристики сигналу.

Більш складно ставити діагноз коли діагностується високо оборотна машина, або механізм з великою кількістю зв'язків. Акустичні сигнали в таких

машинах – випадкові процеси, а інформативними признаками є досить складні характеристики процесів – кореляційні функції, біспектри, кепстри, функції розподілення вірогідності і т.д., отримання яких можливе тільки при використанні ПЕОМ.

У віброакустичному діагностування велику увагу необхідно приділяти питанням фізичної інтерпретації зміни властивостей процесів, які супроводжуються коливаннями, під дією дефектів механізмів. Ці зміни можуть бути наслідком багатьох причин. Одна з них – зміна характеру збудження коливань в механізмі. Це заставляє звернути увагу на закономірності зміни сили збудження при появі несправності шляхом моделювання властивостей сигналу. Найбільш розроблені моделі, які представляють сигнал у вигляді суперпозиції періодичної і випадкової компонент, у вигляді полі гармонічного сигналу, у вигляді періодичної послідовності імпульсів, які модульовані по фазі та імпульсу. Ці моделі дають підхід до формування таких діагностичних ознак як загальний рівень сигналу, амплітудо – частотний склад спектру потужності, кореляційна функція, амплітуди комбінаційних частот, рахмоніки кепстра та ряд інших.

Друга причина зміни властивостей віброакустичного сигналу – це зміна передаточної функції механізму як багатовимірної динамічної системи. У ряді випадків поява несправності приводить до переходу моделі динамічної системи з класу лінійних в клас нелінійних, що супроводжується зміною не тільки амплітуди, але й фази передаточної функції механізму. Тому необхідно звернути увагу на характеристики, які містять інформацію не тільки про властивості віброакустичного сигналу, але і про властивості усієї механічної системи. Тому в останні роки, крім енергетичних характеристик сигналу, все частіше використовують такі характеристики як одномірні та двомірні закони розподілення миттєвих значень віброакустичних процесів, коефіцієнти асиметрії та ексцесу, регресійні та дисперсійні функції та інші.

Вибір діагностичних ознак проводиться за наступною схемою. На основі попереднього вивчення статистики відмов, складається перелік несправностей механізмів. Кожному виду відмови ставиться у відповідність структурний

параметр. В процесі навчання системи діагностування на однофакторних експериментах складається словник віброакустичних діагностичних ознак, які відповідають кожному виду відмов.

Для виявлення характерних діагностичних при знаків необхідно виконати наступні дії:

1). Попередньо отримати спектральні характеристики коливального процесу, який досліджується, при нормальному та дефектному функціонуванні механізму;

2). Виявити зони та характер найбільшої зміни спектральних характеристик (істотну зміну амплітуд дискретних складових, перерозподіл енергії по частотам, відносний ріст шумових компонентів і т.д.);

3). Побудова математичної моделі формування акустичного сигналу при появі дефекту;

4). На основі отриманих даних здійснюється висновок про первинну обробку акустичного сигналу, з метою виділення інформативних ознак;

5). У відповідності зі зміною спектру потужності віброакустичного сигналу складається перелік статистичних ознак, які найбільш чутливі до зміни технічного стану об'єкта діагностування;

6). Пошук набору характерних діагностичних ознак необхідно проводити на основі багатофакторного експерименту та побудування регресійної моделі залежності діагностичної ознаки від параметрів стану механізму [7].

2.4 Методи розпізнавання та класифікації кривих віброприскорення.

Формула Байеса може використовуватися тільки тоді, коли частина ознак має дискретний розподіл, а друга частина – безперервне. Для безперервного розподілу використовують щільність розподілу діагностичної ознаки.

Для класифікації використовують методи розділення ознак в просторі ознак. Ці методи ґрунтуються на гіпотезі, у відповідності до якої точки, які

- 3) – відсічне вікно;
- 4) – плунжер;
- 5) – впускна кромка плунжера;
- 6) – Нагнітальний клапан;
- 7) – упор, обмежуючий піднімання клапана;
- 8) – пружина;
- 9) – нагнітальний трубопровід.

В загальному випадку граничні умови описуються наступними диференціальними рівняннями:

Переміщення плунжера h досить часто задають у вигляді таблиці в залежності від кута повороту кулачкової шайби. Але для розрахунків краще аналітично задавати закон переміщення плунжера.

2.5.2. Рівняння процесу у форсунці при подачі палива

Найбільше розповсюдження отримала форсунка закритого типу з механічним запиранням голки (рис. 2.3).

При складенні граничних умов для форсунки приймаємо до уваги ефективний переріз розпилювача в цілому або ефективний переріз під голкою та соплових отворів. В першому випадку значно спрощується розрахунок та забезпечується добре спів падання розрахункових характеристик та експериментальних даних. Однак, коли розраховується процес впорскування, який протікає в основному при частково піднятій голці, похибки досягають великих значень, причому тиск перед сопловими отворами істотно відрізняється від тиску в камері розпилювача біля голки. Тому розрахунок для таких режимів необхідно проводити по рівнянням, які б враховували б і процеси, які проходять в порожнині під голкою.

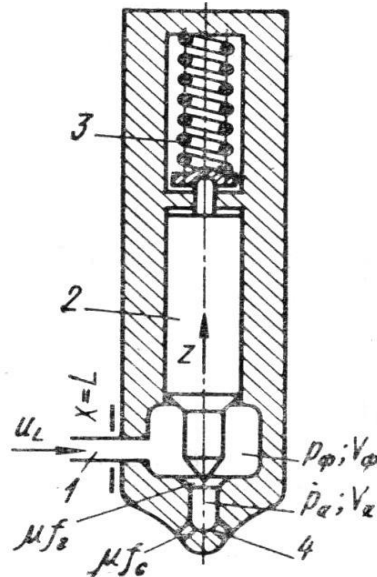


Рисунок 2.3 - Схема форсунки закритого типу:

- 1) – нагнітальний трубопровід;
- 2) - голка;
- 3) – пружина;
- 4) – соплові отвори.

Таким чином, процеси подачі палива в форсунці можливо описати наступними диференційними рівняннями.

2.6. Методика Байєсівського моделювання

Для визначення реальних подій в умовах невизначеності використовуємо ймовірнісний підхід. При цьому необхідно знати причино-наслідкові зв'язки між змінними та визначати основні попередні ймовірності. Для визначення подій в складних системах сільськогосподарських машин застосуємо байєсівське моделювання. Під байєсівське моделювання слід розуміти опис реального світу в світу в байєсівських рамках, тобто зі змінними, які описуються розподілом ймовірностей, а також зв'язками та залежностями між змінними. Вивчення байєсівських моделей часто є складним завданням, оскільки реальний світ складний і має безліч прихованих залежностей. Іншим важливим параметром байєсівського моделювання є спосіб визначення попередніх ймовірностей [14 – 19].

Завданням діагностики складних систем сільськогосподарських машин є завдання зробити висновок про деякі змінні:

$$W = (w_1, \dots, w_N), \quad (2.15)$$

дані навчальних даних X та довідкова інформація I :

$$p(W|X, I) \quad (2.16)$$

У магістерській роботі основним підходом є безпосереднє обчислення ймовірності (2.16) без будь-яких інших припущень. При загальному підході вирішення ймовірності (2.16) базується на оцінці моделі навчальних даних X , а потім використання цієї моделі у розрахунках.

Під байєсівською моделлю O для змінних W ми маємо на увазі специфікацію спільної ймовірності змінних, тобто специфікацію всіх залежностей та базових ймовірностей. Припустимо, що з огляду на модель O , дані навчання про W не дають додаткової інформації. З точки зору ймовірностей, запишемо:

$$p(W|O, X, I) = p(W|O, I) \quad (2.3)$$

Для порівняння запропонованого методу в магістерській роботі з методами, де модель O^* оцінюється на основі навчальних даних X , ми досліджуємо, наскільки $p(W|O^*, I)$ наближається до $p(W|X, I)$, та з урахуванням яких умов виходить рівність. Почнемо з маргіналізації над усіма імовірнісними моделями O ,

$$p(W|X, I) = \int p(W|X, O, I) f(O|X, I) dO = \int p(W|O, I) f(O|X, I) dO. \quad (2.17)$$

В даній роботі при складанні імовірнісного плану, коли ми використовуємо певну модель O^* , ми робимо припущення:

$$f(O|X,I) = \delta(O - O^*), \quad (2.18)$$

де $\delta(x)$ – розподіл з усією масою ймовірності, сфокусованою в $x = 0$. За припущенням (2.18) рівняння (2.17) стає:

$$p(W|X,I) = p(W|O^*, I). \quad (2.19)$$

Коли розподіл $f(O|X, I)$ вузький, а маса ймовірності сфокусована замкнена до O^* , (2.5) є гарним наближенням. Це відбувається, наприклад, коли одна модель набагато вірогідніша за всі інші. Однак (2.5) може бути надто вагомим припущенням. Особливо, коли даних про навчання недостатньо, а попередні знання про структуру невідомі $f(O|X, I)$ і як правило широкі.

Перед застосуванням байєсівські моделі у процесі діагностування дизельних двигунів, нам потрібно більш детально визначити, що ця модель включає.

Припустимо, що існує N дискретних змінних w_i , $i = 1, \dots, N$. Необхідно визначити наскільки ймовірно, що змінні приймають певні значення, враховуючи поточний стан знань. Тобто визначити:

$$p(w_1, w_2, \dots, w_N | I), \quad (2.7)$$

За допомогою правила добутку розподіл ймовірностей (2.7) можна записати:

$$p(w_1, w_2, \dots, w_N | I) = \prod_{i=1}^N p(w_i | w_1, \dots, w_{i-1}, I). \quad (2.8)$$

У байєсівській моделі O зазначено, яка саме змінна w_1, \dots, w_{i-1} дійсно впливає на ймовірність w_i , тобто від яких змінних w_i залежить. Використовуючи позначення $P_a(w_i)$ для підмножини змінних w_1, \dots, w_{i-1} , від яких w_i залежить.. Враховуючи модель O , спільну ймовірність змінних можна записати:

$$p(w_1, w_2, \dots, w_N | O, I) = \prod_{i=1}^N p(w_i | Pa(w_i), O, I). \quad (2.9)$$

Це дає точний спосіб обчислення всіх ймовірностей. Досить часто залежність від моделі O не наводиться, а передбачається, що вона включена у довідкову інформацію I .

Висновки по розділу 2.

В даному розділі представлена загальне методика байєсівське моделювання, що дозволяє здійснювати опис реального світу в байєсівських рамках, тобто зі змінними, які описуються розподілом ймовірностей, а також зв'язками та залежностями між змінними. Даний метод визначення ймовірнісних подій запропоновано покласти в основу розробленої системи діагностування дизельних двигунів.

1	+	+	+	+	13	-	-	+	+
2	+	+	+	-	14	-	-	+	-
3	+	+	-	+	15	-	-	-	+
4	+	+	-	-	16	-	-	-	-
5	+	-	+	+	17	+	0	0	0
6	+	-	+	-	18	-	0	0	0
7	+	-	-	+	19	0	+	0	0
8	+	-	-	-	20	0	-	0	0
9	-	+	+	+	21	0	0	+	0
10	-	+	+	-	22	0	0	-	0
11	-	+	-	+	23	0	0	0	+
12	-	+	-	-	24	0	0	0	-

Наступне питання яке виникає при плануванні експерименту – яке число повторень досліду призначити при визначенні тієї чи іншої величини. Є кілька методів визначення необхідної кількості повторень або об'єму вибірки. Зупинимося на одному з них.

Припустимо визначається середня арифметична величина багаторазових вимірювань одного і того ж об'єкту. Для визначення кількості повторних вимірювань необхідно задатися наступними величинами:

надійність результатів досліду - α , за допомогою якої ми зможемо встановити довірчий інтервал значень вимірюваної величини. Показник α ще називається довірчою вірогідністю, тобто вірогідністю того, що значення вимірюваної величини X не вийдуть за довірчі межі $\pm \Delta X$, які визначаються довірчою вірогідністю. Чим вище необхідна надійність, тим більше (ширше) отримаємо довірчі межі, та чим більше задаються довірчі межі, тим більше вірогідність того, що результати вимірювань не вийдуть за її межі.

При звичайних дослідженнях в техніці для знаходження залежності впливу різних факторів достатня достовірна вірогідність 0,7 – 0,9. При вивченні

ж характеристик приладів – 0,95 – 0,99.

Допустимою похибкою - вираженою в долях середньоквадратичного відхилення σ . З класичної теорії похибок вимірювань відомо, що результати багаторазового вимірювання однієї і тої ж величини повинні знаходитися в межах $\pm 3\sigma$.

Тому, якщо відомо, в яких межах повинна вимірюватися величина, то можливо для скорочення числа повторень, задати помилку в межах $\pm 3\sigma$.

В таблиці 3.2 приведені значення числа повторень дослідів в залежності від вибраних довірчої вірогідності α та допустимої похибки σ .

Таблиця 3.2 - Кількість повторень дослідів в залежності від довірчої вірогідності

Похибка в долях σ	Довірча вірогідність α					
	0,7	0,8	0,9	0,95	0,99	0,999
3,0	1	1	2	3	4	5
2,0	1	2	3	4	5	7
1,0	3	4	5	7	11	17
0,5	6	9	13	18	31	50
0,4	8	12	19	27	46	74
0,3	13	20	32	46	78	127
0,2	29	43	70	99	171	277
0,1	169	266	273	378	668	1089
0,05	431	659	1084	1540	2659	4338
0,01	10732	16436	27161	38416	66358	108307

3.2 Програма та методика визначення рівня вібрацій нагнітального паливопроводу автотракторного дизельного двигуна.

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 см³, початок дії регулятора – 1115...1125 хв⁻¹, повне виключення подачі – 1210 хв⁻¹кут геометричного початку подачі 57+1, град., кут випередження подачі – 25...27 град..

Двигун розміщений на обкаточно-гальмівному стенді КИ – 5542 ГОСНИТИ. Стенд складається з електричного динамометра, реостата, електрошафа, стойки з приладами, установочних стояків, плит кріплення, бака

для палива та вагового пристрою. До складу динамометра входить балансірна електромашина, сило вимірювальний механізм та карданний вал. Балансірна машина служить в якості приводу при обкатці двигуна і гальмом при гарячій обкатці двигуна з навантаженням при випробуванні. Балансірна електромашина з фазовим ротором, підвішена на стояках, закріплених до загальної плити, що дозволяє корпусу машини повертатися на деякий кут в обидві сторони відносно вала ротора. При роботі машини обертаючий момент ротора створює реактивний момент на статорі, який прагне повертати корпус машини в протилежному напрямку. Так як реактивний момент на статорі дорівнює крутному моменту ротора, то за реактивним моментом визначаються гальмівний момент або момент тертя при холодній обкатці двигуна. Електромашина працює на стенді в двох режимах: електродвигуна і генератора. Режим електродвигуна використовується при холодній обкатці двигуна. Режим генератора – при гарячій обкатці двигуна під навантаженням. Сило вимірювальний механізм маятникового типу являє собою пристрій для виміру гальмівного моменту при обкатці двигуна під навантаженням. Рідинний реостат призначений для запуску балансірної машини, регулюванням частоти обертання ротора при холодній обкатці двигуна. В залежності від величини площі занурення електродів в розчин, змінюються опір обмоток ротора і таким чином змінюється частота обертання ротора електромашини або гальмівний момент.

На обкаточно-гальмівному стенді КИ – 5542 можна проводити “холодну” обкатку двигунів, обкатку на газу без навантаження, і з навантаженням.

При запуску електромашини для проведення холодної обкатки двигуна необхідно:

- 1) Включити вимикач на електричній шафі стенда.
- 2) Включити електромашину натиском на кнопку “Пуск”.
- 3) Занурити електроди в розчин до тих пір, поки колінчастий вал випробуваного двигуна не почне обертатися.
- 4) “Холодна” обкатка двигуна повинна проводитися на протязі 15 хв.

Обкатка двигуна на газу без навантаження. Для переведення двигуна з “холодної” обкатки на гарячу необхідно:

- 1) Встановити мінімальні частоту обертання ротора електромашини 600 – 700 об/хв.. за тахометром.
- 2) Відкрити трьохходовий кран подачі палива з паливного бака до двигуна.
- 3) Відкрити подачу палива в двигун, для чого важіль керування рейкою ПНВТ встановити в середнє положення.
- 4) Занурювати електроди в розчин. Як тільки двигун, який обкатують почне працювати самостійно, зменшити подачу палива, обмеживши частоту обертання до 800 – 900 об/хв.. Виключити динамомашину стенда.
- 5) В подальшому частоту обертання двигуна регулюють у відповідності до режиму “гарячої” обкатки на холостому ході.

Паливний насос високого тиску (ПНВТ) УТН – 5 регулювався на стенді КИ – 921М. Для регулювання ПНВТ необхідно виконати наступні дії:

- 1) Встановити ПНВТ УТН – 5 на стенді та підключити паливо проводи за схемою.
- 2) Увімкнути стенд, перевірити роботу насоса, заповнити систему паливом та проконтролювати щільність з'єднань. Несправність насоса визначають за шумами, стуком і заїданням окремих деталей.
- 3) Встановити гвинт номінальної подачі палива. Включити стенд і повернути важіль регулятора до упору у гвинт максимальної частоти обертання. Варіатором стенда встановити номінальну частоту обертання кулачкового вала насоса. Відпустити контргайку гвинта номінальної частоти і загвинтити його всередину корпусу, а потім повільно вигвинчувати до початку руху рейки у бік зменшення подачі палива. Після цього додатково вигвинтити гвинт на 0,5 оберта і затягнути контргайку. Заміряти виступання рейки у бік регулятора від площини корпусу насоса.
- 4) Перевірити і відрегулювати регулятор на початок дії. У ПНВТ УТН – 5 він визначається за частотою обертання кулачкового вала насоса у момент відходження основного важеля від головки гвинта номінальної частоти. При максимальній подачі палива збільшити частоту обертання кулачкового вала насоса і стежити за переміщенням рейки і основного важеля регулятора. Покази тахометра в цей час і є частотою початку дії регулятора.

Для регулювання циклової подачі палива на номінальному режимі з

форсунками, які відрегульовано на відповідний тиск початку впорскування необхідно виконати наступні дії: увімкнути привод стенду і за тахометром встановити номінальну частоту обертання кулачкового валу насоса. Встановити важіль регулятора в положення максимальної частоти. Рукояткою лічильника встановити число, що відповідає номінальній частоті. Натиснути на важіль, після чого включиться лічильник - автомат, переміститься шторка над мензурками і паливо з форсунок надійде в мензурки. Після автоматичного відключення лічильника за поділками на мензурках визначаємо об'єм палива. Після перевірки рівномірності подачі гвинтом номінальної подачі (гвинтом номінала) можна змінити в разі потреби подачі всіх секцій. Для збільшення подачі палива гвинт треба загвинтити, а для зменшення – вигвинтити. Після зміни положення гвинта, необхідно відрегулювати початок дії регулятора.

Регулювання рівномірності подачі палива для насоса УТН – 5.

Допустима нерівномірність подачі при номінальній частоті обертання 3%. Якщо допустима нерівномірність не відповідає нормі, то виконують регулювання відповідної секції насоса високого тиску зміною положення поворотної втулки відносно зубчатого сектора. Для цього необхідно відпустити гвинт зубчатого сектора і повернути втулку вліво для збільшення подачі, або вправо для зменшення.

Для регулювання кута початку впорскування палива спочатку необхідно перевірити кріплення нерухомого диска, щоб його нульова поділка суміщалася з міткою на корпусі стенда. Виключити стенд, важіль регулятора повернути до упора у гвинт максимальної частоти і встановити номінальну частоту обертання кулачкового валу. Після 5 – 7 хвилин роботи стенда включити перший і другий тумблери стробоскопічного пристрою, через 1-2 хвилини включити тумблер тієї секції, яка перевіряється. Поділка на шкалі рухомого диска, розміщена проти візира нерухомого диска, покаже величину кута початку впорскування палива. Одержані результати кутів порівнюють з тими, які вказані в технічній характеристиці насоса.

Кут початку впорскування регулюють болтом штовхача, при ослабленні

контргайки. При закручуванні болта кут зменшується, а при викручуванні – збільшується. Один оберт болта штовхача змінює кут початку впорскування на $4 - 5^{\circ}$ повороту кулачкового вала. Для перевірки правильності регулювання кута початку впорскування включити на 1 – 2 хв. тумблери інших секцій. При цьому поділки на шкалі рухомого диску повинні займати не більше як 1° . Відхилення кута початку впорскування окремими насосними секціями не повинно перевищувати $0,5^{\circ}$ кута повороту кулачкового валу паливного насосу високого тиску.

Для регулювання форсунок використовувався прилад КИ – 3333 ГОСНИТИ. Перед регулюваннями необхідно перевірити прилад на герметичність, для цього необхідно прокачувати систему паливоподачі приладу рукою поки з штуцера не піде паливо без бульбашок повітря. Якщо паливо не витікає, то видалити повітря крізь гвинт для видалення повітря. Після чого створити тиск $38,5 + 0,5$ МПа. Спад тиску з 38 МПа протягом 3 хв. не повинен перевищувати 0,5 МПа. Потім встановити форсунку ФД – 22 в кронштейн і закріпити її затискачем. Один кінець паливопроводу приєднати до штуцера форсунки, а другий до штуцера приладу.

Потім необхідно перевірити форсунку на якість розпилювання при номінальному тиску і тиску на $2,0...2,5$ МПа більшому і меншому за номінальний. Частота впорскувань – $60...80$ за хвилину. Паливо повинно розпилюватися туманоподібно, без помітних окремих крапель і суцільних струменів. Не допускається підтікань палива через соплові отвори до початку і в кінці впорскування. Впорскування палива має бути чітким і супроводжуватися характерним звуком. Потім необхідно визначити герметичність форсунки за спадом тиску за певний час у системі прилад – форсунка. Для перевірки герметичності форсунки з багатодірчастим розпилювачем треба затягнути пружину до тиску впорскування 38 МПа. Час спаду тиску від 35 МПа до 30 МПа має становити не менш як 15 с.

Відрегулювати форсунку на тиск впорскування гвинтом, послабивши

затягування контргайки; для збільшення тиску початку впорскування регулювальний гвинт закрутити, а для зменшення викрутити.

Форсунка ФД – 22 має наступні технічні данні: встановлюється на двигуні Д – 240; тиск початку впорскування – $17,7 \pm 0,5$ МПа; кількість соплових отворів – 4; діаметр отворів – $0,34 \pm 0,02$ мм.; хід голки – $0,23 \dots 0,28$ мм.



а)

б)

Рисунок 3.1 - Стенди для випробування та регулювання:

а) ПНВТ Ки-921М;

б) форсунок КИ-3333 ГОСНИТИ.

3.3 Вибір методів збирання та обробки експериментальних даних.

Вибір методів збирання та обробки даних над досліджуваними процесами в значній мірі залежить від того, яке фізичне явище являє собою процес, який вивчається. Але в самому загальному вигляді можна виділити п'ять основних етапів, які пов'язані з цією процедурою:

- збирання інформації;
- реєстрація інформації (в тому числі і передача);
- підготовка;
- оцінка основних властивостей;

- аналіз.

Кожен з цих етапів вимагає виконання ряду послідовних операцій.

Першим кроком при збиранні даних є перетворення процесу, який досліджується за допомогою спеціального пристрою. Взагалі перетворювачем потрібно рахувати любий пристрій, який перетворює один вид енергії в інший.

Для виявлення якісної залежності між коливаннями блоку-циліндрів дизельного двигуна та розрегулюваннями паливної апаратури використовується стандартний п'єзокерамічний приймач прискорень KD – 35 (акселерометр), який представлений на рис. 3.2. 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/с²;
- максимальне поперечне прискорення – 1000 м/с²;
- 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. Наступним важливим



Рисунок 3.2 – Загальний вид акселерометра KD – 35.

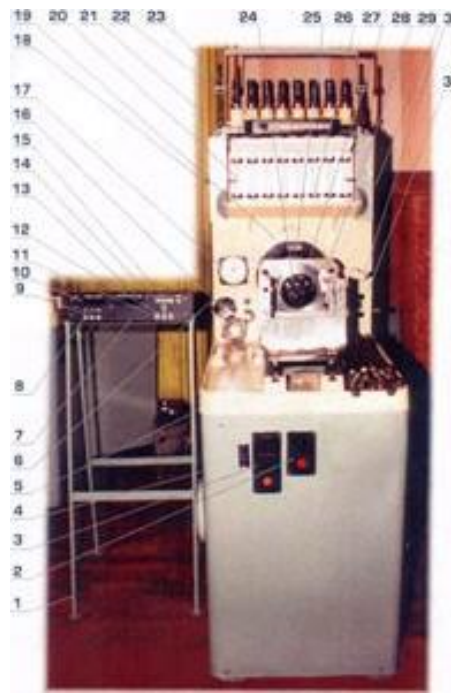


Рисунок 3.3 - Загальний вигляд експериментальної установки.

Нехай в моменти часу, які відстоять один від одного на інтервал часу $\Delta t = h$, проводиться вибірка з окремої реалізації $u(t)$ випадкового процесу з безперервним часом. Величина цього інтервалу визначає частоту звертання (або частоту Найквіста):

$$f_c = \frac{1}{2\Delta t} = \frac{1}{2h} \quad (3.1)$$

Такий процес буде мати нульове вибірконе середнє значення та рівне одиниці вибірконе стандартне відхилення.

Фільтрацію даних дослідження можна здійснювати з метою згладжування процесу, виділення складових в окремих частотних діапазонах та дослідження їх властивостей. Високочастотній фільтр пропускає шум, який має високу частоту, а низькочастотний – виділяє згладжене гармонічне коливання.

Загальне співвідношення між процесами $x(t)$ на вході та $y(t)$ на виході лінійного фільтра дається інтегралом згортання:

3.4 Реєстрація кривих вібрації за допомогою станда віброакустичного діагностування «Дельфін – 1М».

Загальний вид станду зображений на рис. 3.8.



Рисунок 3.8 - Загальний вид станду «Дельфін – 1М».

Стенд «Дельфін – 1М» є автоматизованим вимірювально- інформаційним комплексом, який призначений для експертної підтримки персоналу СТО при діагностуванні механічних конструкцій, функціональних систем впорскування та запалення, а також датчиків.

В склад станду входить комплект віброакустичних датчиків, вимірювачів тиску та акустичної емісії, електричних адаптерів а також експертна комп'ютерна програма. Автоматично розпізнаються дефекти в системі запалення. В інших функціональних системах про наявність дефектів судять по відповідності вимірних та нормативних параметрів.

Стенд має 8 вимірювальних каналів. Їх рекомендується використовувати так:

- огинаюча в полосі частот 25 – 40кГц, канали 1 та 2;
- вібрації (полоса частот 5 – 10000 Гц), канал 3;
- вібрації (полоса частот 5 – 180 Гц),канал 4;
- електрична напруга (0 – 32 В), канал 5;

- тиск (0 – 250 ати), канал 6;
- сигнал початку підрахунку, канал 7;
- електрична напруга (0 – 30000 В), канал 8.

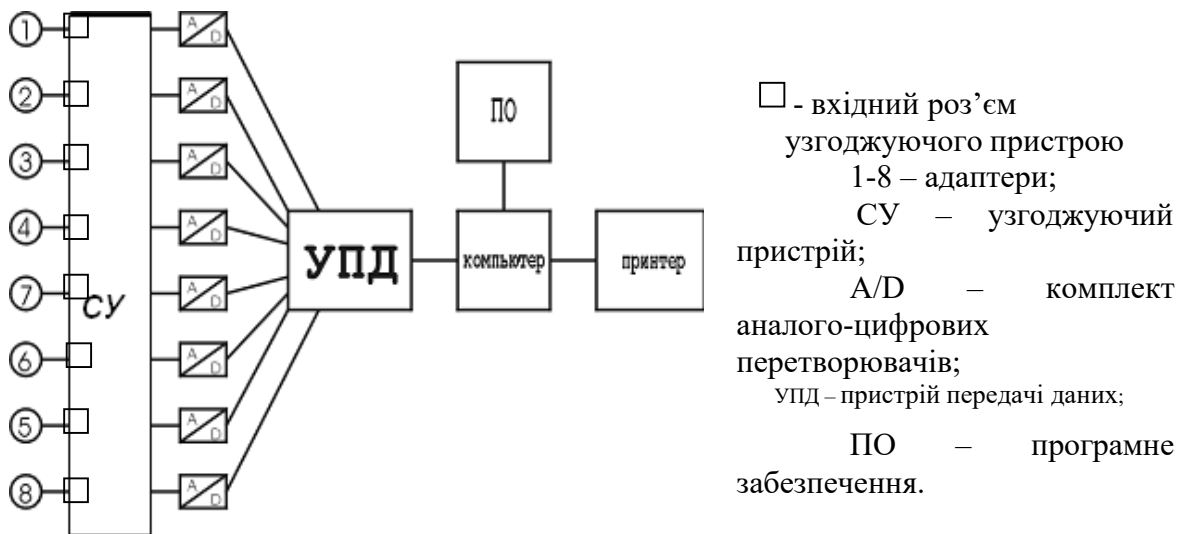


Рисунок 3.9 – Блок-схема стану «Дельфін – 1М»

Сигнали з 8 датчиків вводяться в блок електроніки, який забезпечує комутацію, узгодження, попередню фільтрацію та введення вимірних даних в комп'ютер за допомогою АЦП (вхідна напруга ± 10 вольт, розрядів – 12). Частота опитування кожного каналу – 70000 разів за секунду.

Датчики акустики (ультразвукової) п'єзоелектричні – серії АВС з власними частотами та міцністю, які забезпечують вимагаємі діапазони вимірювання. Знімання електричного сигналу здійснюється шляхом притискання датчиків до відповідних місць конструкції механізму.

Результати комп'ютерної ідентифікації дефектів висвічуються на екрані.

Інформацію про віброакустичний стан об'єкту отримують за допомогою п'єзоелектричних датчиків. За фізичною сутністю п'єзодатчик можливо представити керамічним конденсатором, на обкладках якого виробляється електричний сигнал.

Дешифровка вимірних даних проводиться автоматично за формулою:

$$A_i = U_i / K_d / K_y / 2$$

Де A_i - вимірне значення віброприскорення (m/s^2);

U_i – приріст напруги за шкалою монітору (вольт);

K_d – обрахована з урахуванням усіх поправок чутливість датчиків.

K_u – коефіцієнт підсилення УПТ каналу.

3.5 Обробка аналогових сигналів на комп'ютері.

При використанні звичайного комп'ютера для запису аналогових сигналів використовуємо паралельний порт.

Для введення даних через стандартний паралельний порт необхідні додаткові операції, оскільки вхідних ліній всього п'ять. Двійкові дані з числом розрядів більше п'яти повинні вводитися по частинам: по чотири – п'ять розрядів. Так введення восьми розрядного коду, який отримано з результаті аналого-цифрового перетворення, необхідно здійснити по частинам: чотири молодших розряди, а потім чотири старших. Передача даних (DO2-DO5 та DO6-DO9) по одним і тим же лініям (SEL, PO, ACK, ERR), можлива з-за застосування в якості буферних регістрів схем з так званим «третім» або Z – станом, в якому вихідні виводи відключені, та логічний рівень на них визначається зовнішнім сигналом. Вихідний каскад мікросхем являє собою два послідовно з'єднані n-p-n транзистори. Вихідний логічний рівень визначається станом транзисторів VT1 та VT2 табл. 3.3.

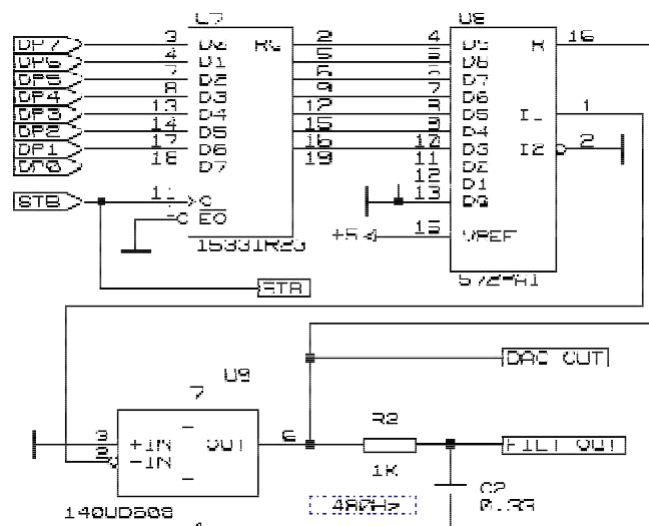


Рисунок 3.10 - Принципіальна схема цифро-аналогового перетворювача

з вхідним підсилювачем та НЧ – фільтром.

Таблиця 3.3 - Логічний рівень вихідного каскаду.

VT1	VT2	Вихід
Відкритий	Закритий	1
Закритий	Відкритий	0
Закритий	Закритий	Z

Вихід мікросхем знаходиться в Z – стані, якщо логічний рівень на вході «дозвіл виходу» - OE – пасивний, тобто такий який забороняє вихід. Виходи мікросхем 555IP15 включаються, якщо на вході OE мікросхеми присутній логічний нуль (тобто активним є низький логічний рівень). Таким чином, якщо молодший біт DP0, який записаний в реєстр даних паралельного порту рівняється нулю, дозволено видачу молодших чотирьох біт D02 – D05 коду АЦП, якщо одиниці – старших бітів D06 – D09. Ці четвірки бітів при читанні регістру стану виявляється в бітах DS3 – DS6.

Як видно з цього малюнку, для відновлення восьми розрядного числа необхідно після читання з регістру стану паралельного порту молодших 4 бітів здвинути результат на 3 розряди.

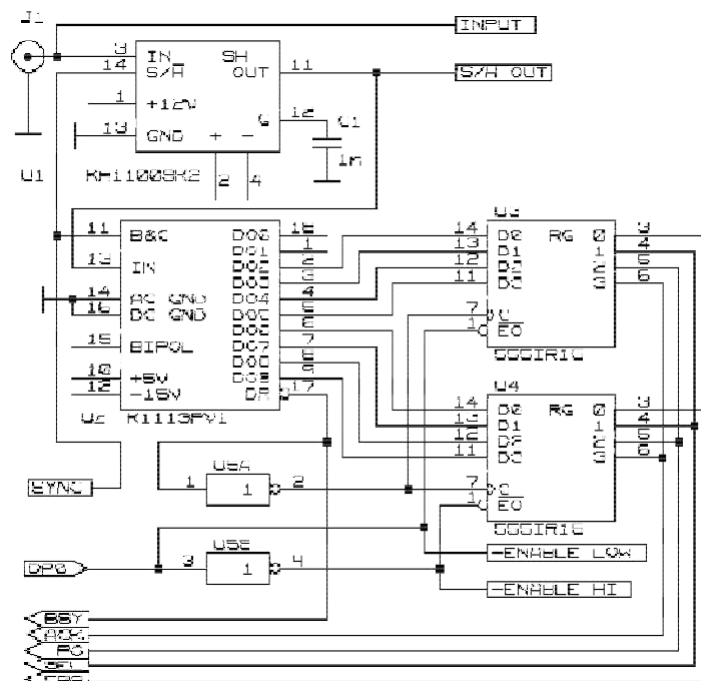


Рисунок 3.8 - Фрагмент принципової схеми пристрою вибірки та АЦП.

Цикл роботи АЦП починається з приходом сигналу скидання даних тривалістю не менше 2 мікросекунд на вхід V&C рис. 3.8. При цьому виходи даних DO0 – DO9 перейдуть в третій стан, а сигнал готовності DR приймає високий (пасивний) рівень. Перетворення аналогового сигналу в цифрову форму починається відразу після закінчення імпульсу скидання та займає не більше 30 мікросекунд. На протязі цього часу напруга на аналоговому вході АЦП IN рис.3.10., для отримання правильного результату підтримується постійним, що забезпечується спеціальною мікросхемою – пристроєм вибірки/зберігання U1KR1100СК2. Під час перетворення входи даних залишаються в Z – стані, а сигнал готовності у високому стані. Коли перетворення завершено (АЦП працює по алгоритму послідовного наближення), сигнал готовності DR встановлюється в активний низький стан, а на виходах DO0 – DO9 з’являється результат – цифровий еквівалент напруги на виході АЦП. Дані DO0 – DO9 будуть присутні на виходах АЦП до приходу наступного імпульсу скидання на вхід V&C. Якщо до цього моменту часу дані не зчитані будь-яким зовнішнім пристроєм, результат перетворення буде втрачено. На рис. 3.9 для фіксації даних використовуються регістри U3. U4 KP555ИP15.

4 Експериментальні дослідження

Для визначення можливості діагностування паливної апаратури по вібраційним характеристикам паливо проводу високого тиску, використовуємо стенд для регулювання паливної апаратури дизельного двигуна КИ – 921М. На стенді встановлено паливну апаратуру УТН-5 двигуна Д-240, трактора МТЗ-80. Для заміру вібраційних характеристик руху палива в паливо проводі високого тиску використовуємо п'єзоелектричний датчик вібрації, загальний вид якого зображено на рис. .

Датчик має наступні характеристики:

- 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/с²;
- максимальне поперечне прискорення – 1000 м/с²;
- 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.

При дослідженні паливної апаратури датчик вібрації жорстко встановлювався на нагнітальний паливопровід, біля штуцера секції паливного насосу. При дослідженні вивчали зміну характеру пульсації сигналів при зміні частоти обертання кулачкового валу насосу високого тиску.

При частоті обертання кулачкового валу насосу високого тиску 600 об/хв отримуємо криву, яку зображено на рисунку 4.1.

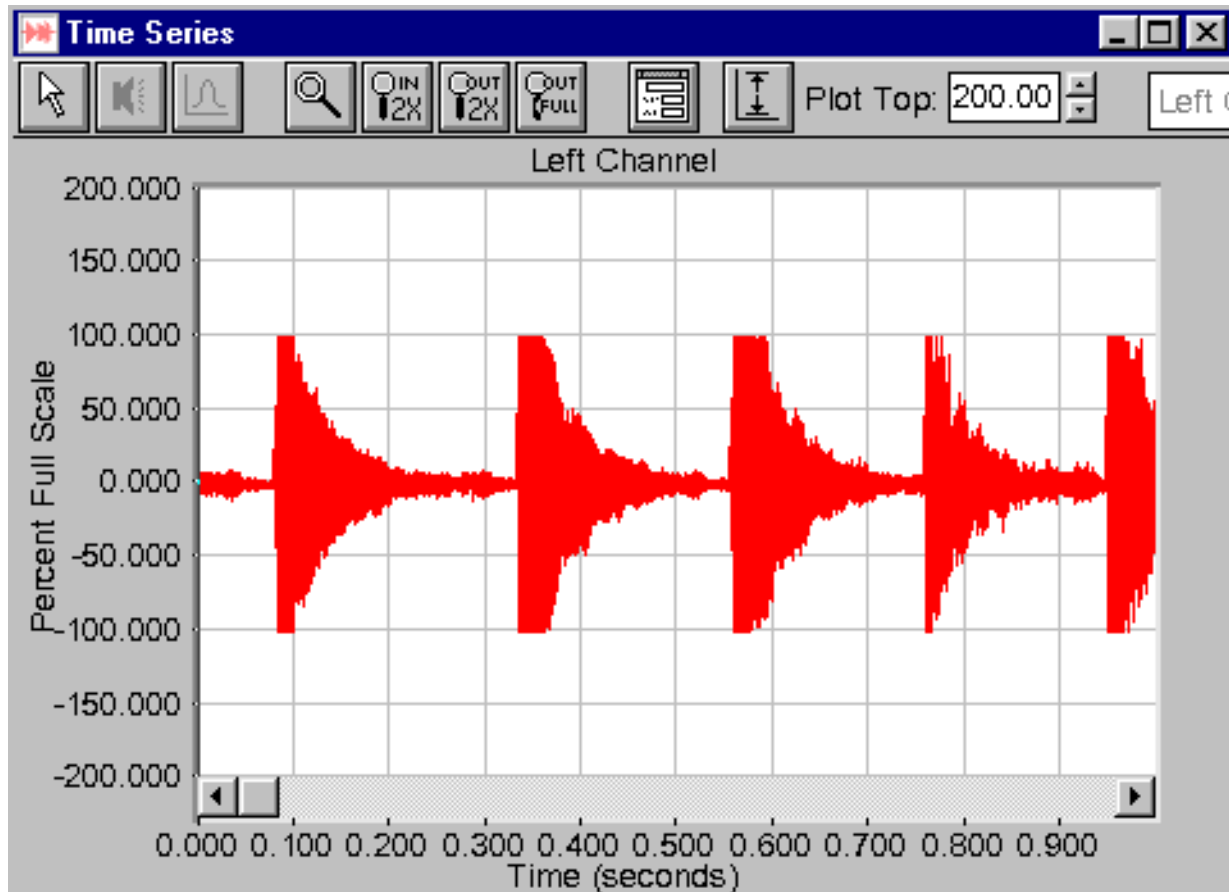


Рисунок 4.1 – Характер протікання процесу в паливопроводі високого тиску при частоті обертання 600 об/хв..

Як видно на цьому рисунку, процес нагнітання палива в системі подачі супроводжується створенням гідравлічного імпульсу тиску з великою швидкістю наростання та малою тривалістю, тобто гідравлічним ударом. Внаслідок високої частоти заповнення вібраційні імпульси характеризуються крутим фронтом зростання амплітуди, при цьому відсутні завади від неперевіряємих з'єднань, спостерігається чітка відповідність фази вібраційних імпульсів початку гідравлічних імпульсів, а структура вібраційних процесів тісно пов'язана з характером протікання гідравлічних процесів.

При збільшенні частоти обертів кулачкового валу насоса високого тиску характер кривих дещо змінюється, це показано на рис. 4.2.

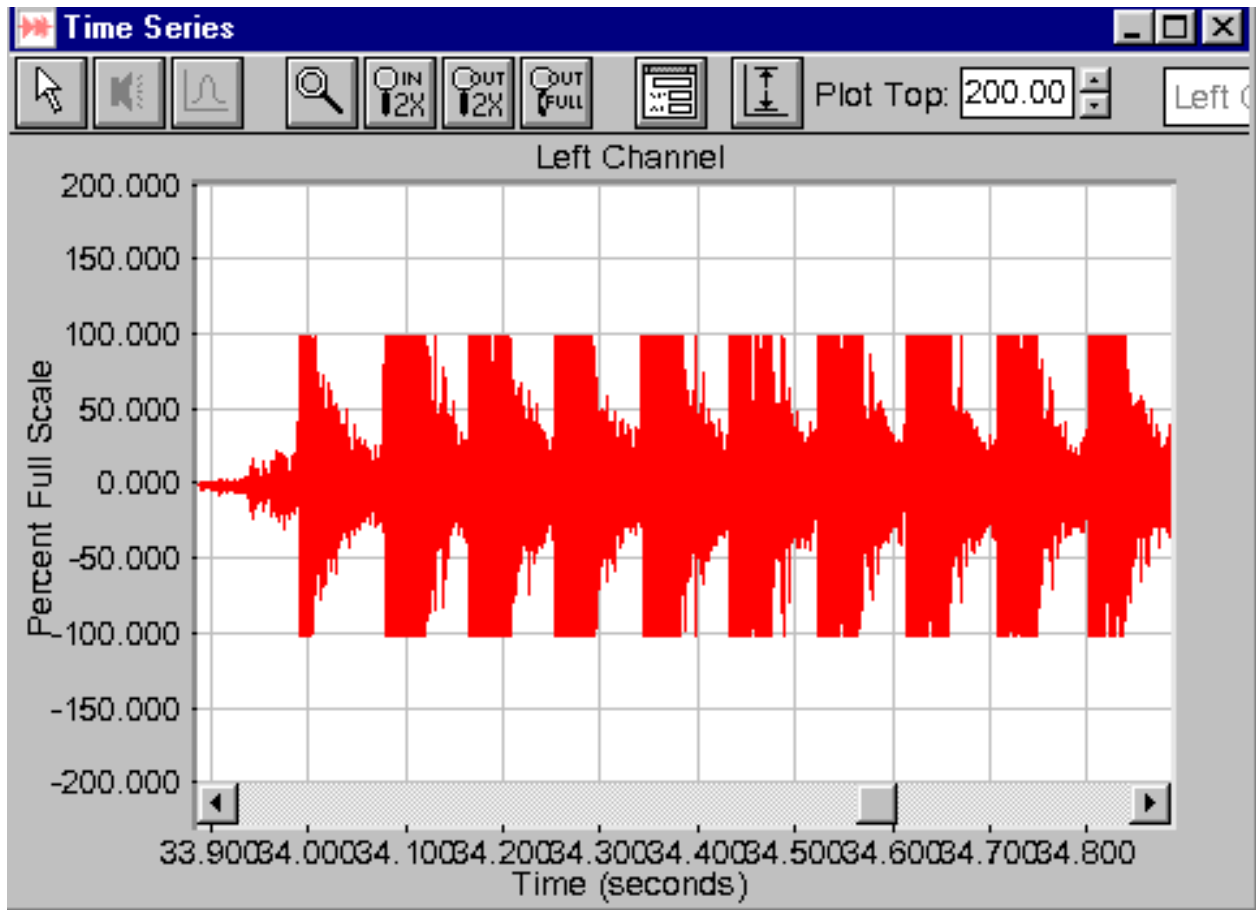


Рисунок 4.2 – Протікання процесу впорскування палива при $n=1200$ об/хв..

Якщо паливо не впорскується то процес в паливо проводі високого тиску протікає так, як зображено на рисунку 4.3.

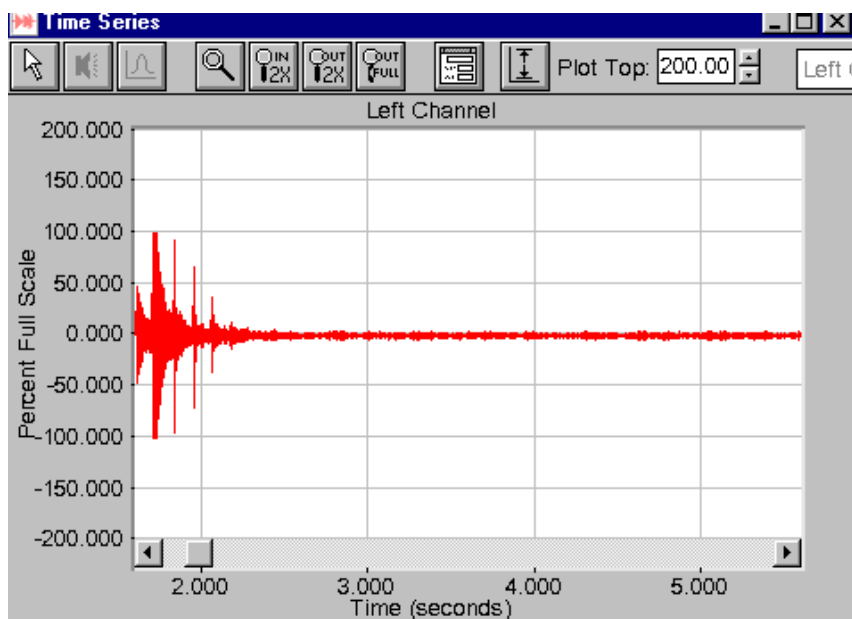


Рисунок 4.3 - Характер протікання вібропроцесу в паливо проводі високого тиску при відсутності впорскування.

Його спектральне представлення

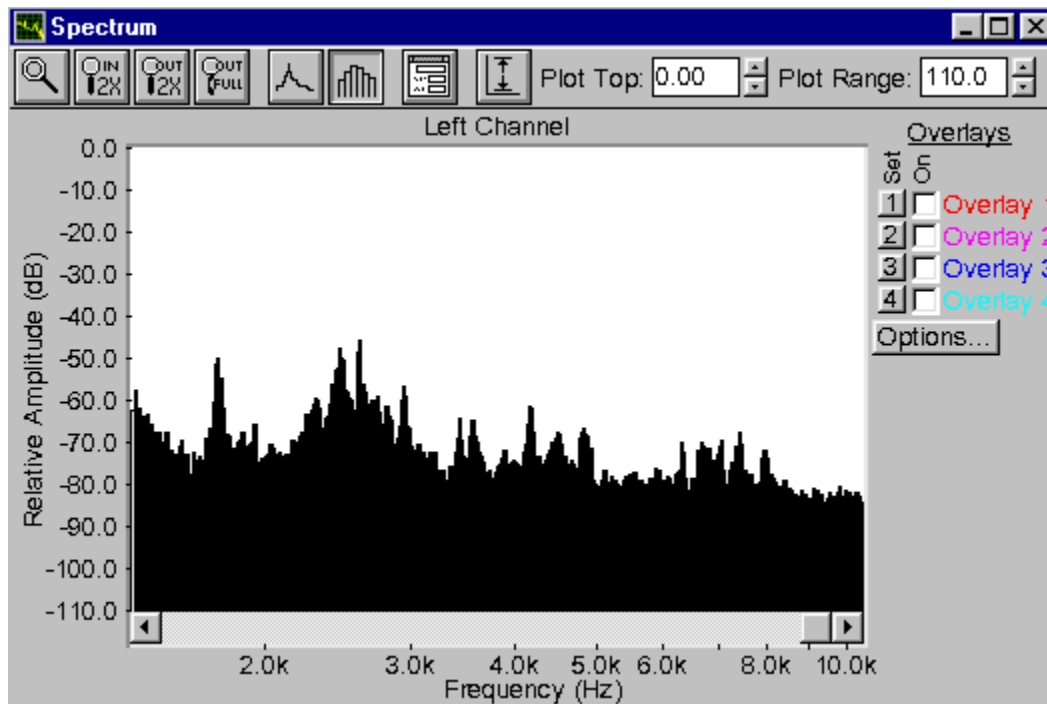


Рисунок 4.4 – Спектр сигналу представленого на рис.4.3

В залежності від кількості точок:

При 32 точках час 0,4 секунди

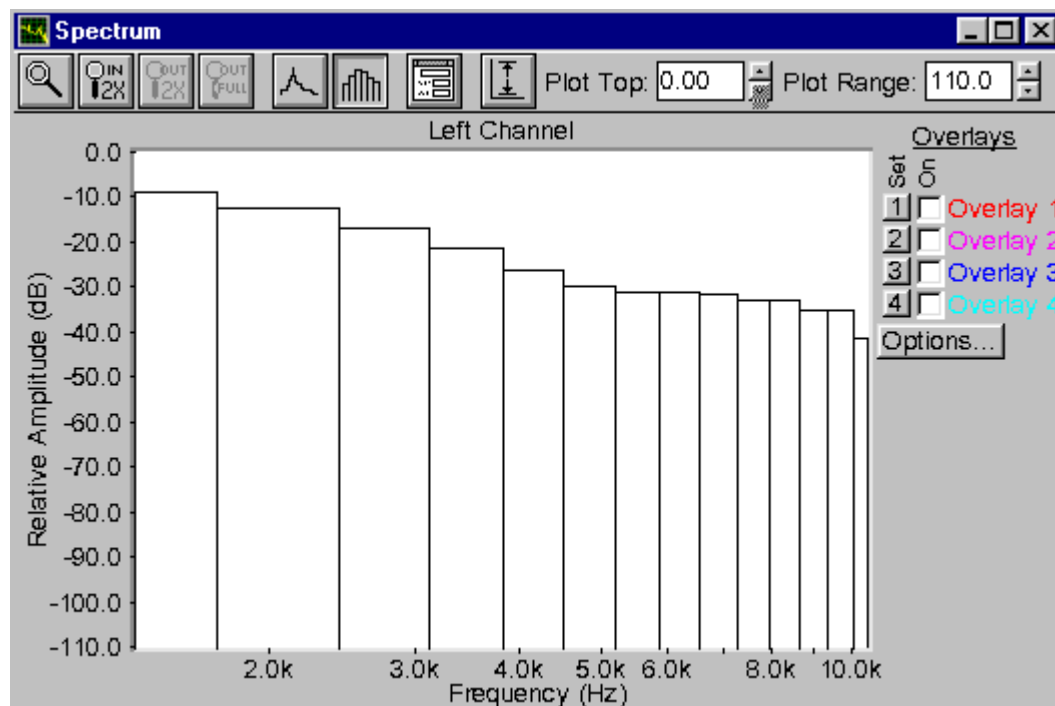


Рисунок 4.5 – Спектр сигналу при 32 точках час 0,4 сек

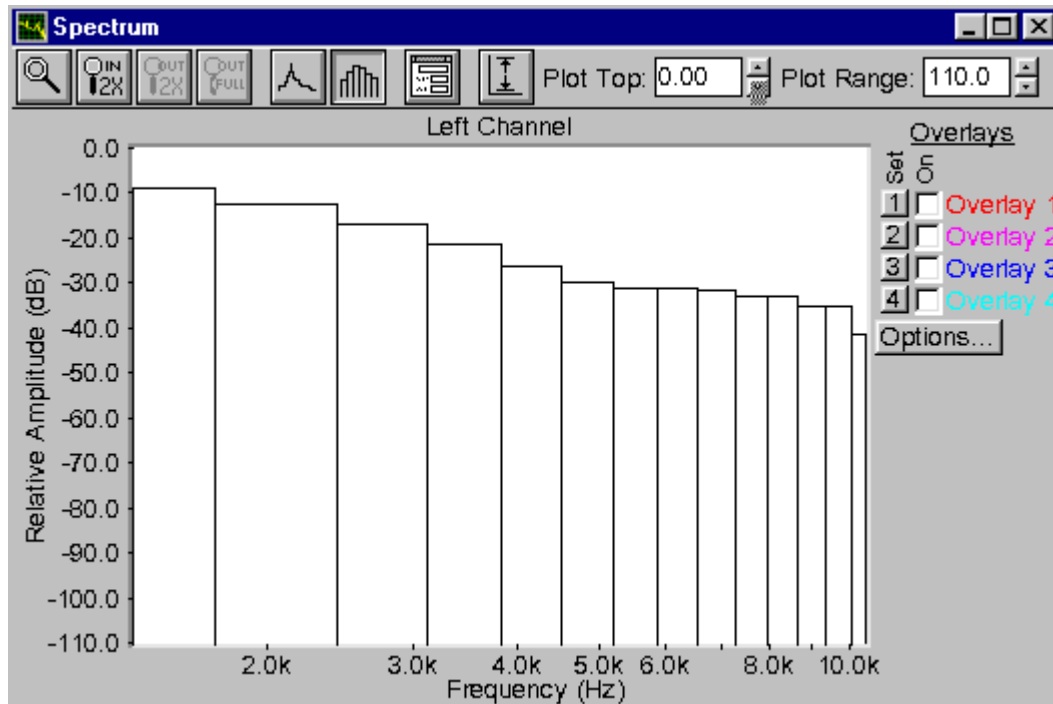


Рисунок 4.6 – Спектр сигналу кількість точок 128 час 0,4 сек

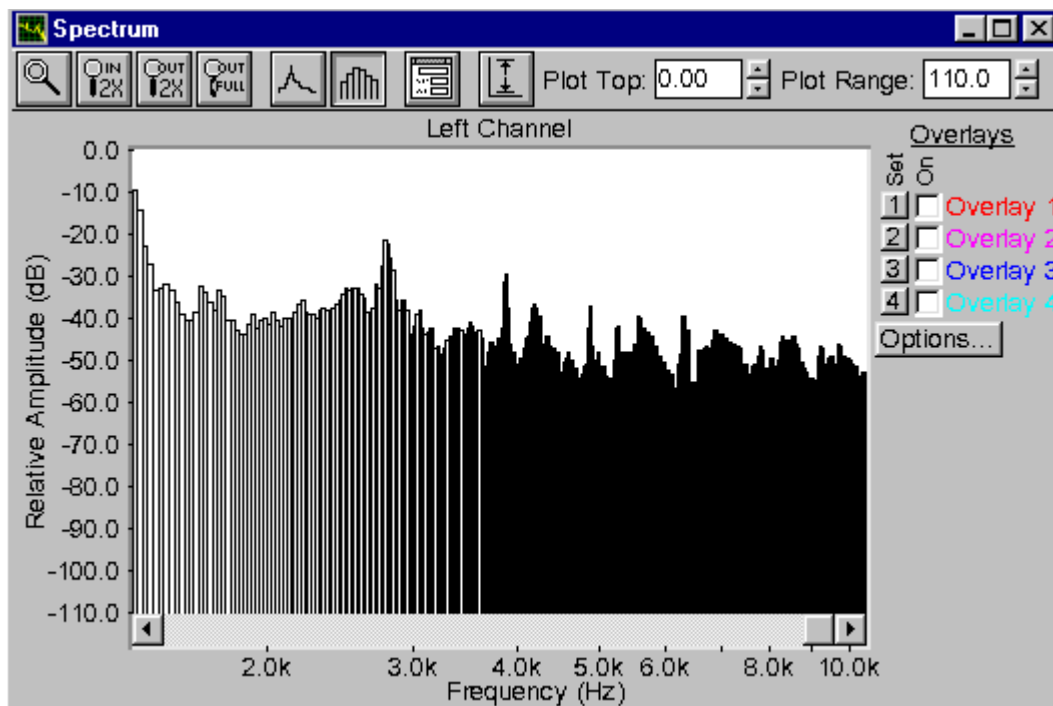


Рисунок 4.7 – Спектр сигналу при 1024 точках час 0,4 сек

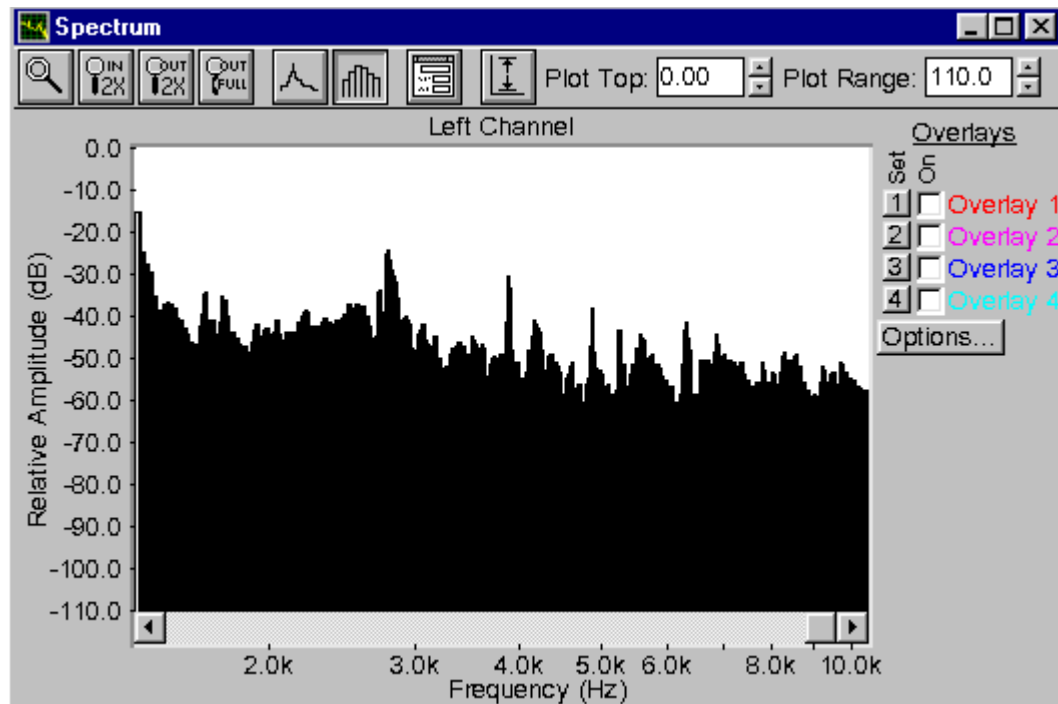


Рисунок 4.8 – Спектр сигналу при 4096 точок час 0,4 секунди

Як бачимо з цих рисунків при збільшенні кількості точок при перетворенні Фур'є змінюється кількість ліній спектру, що робить описання процесу більш детальним.

При зміні тривалості процесу:

Час 0,1 секунда кількість точок 8192:

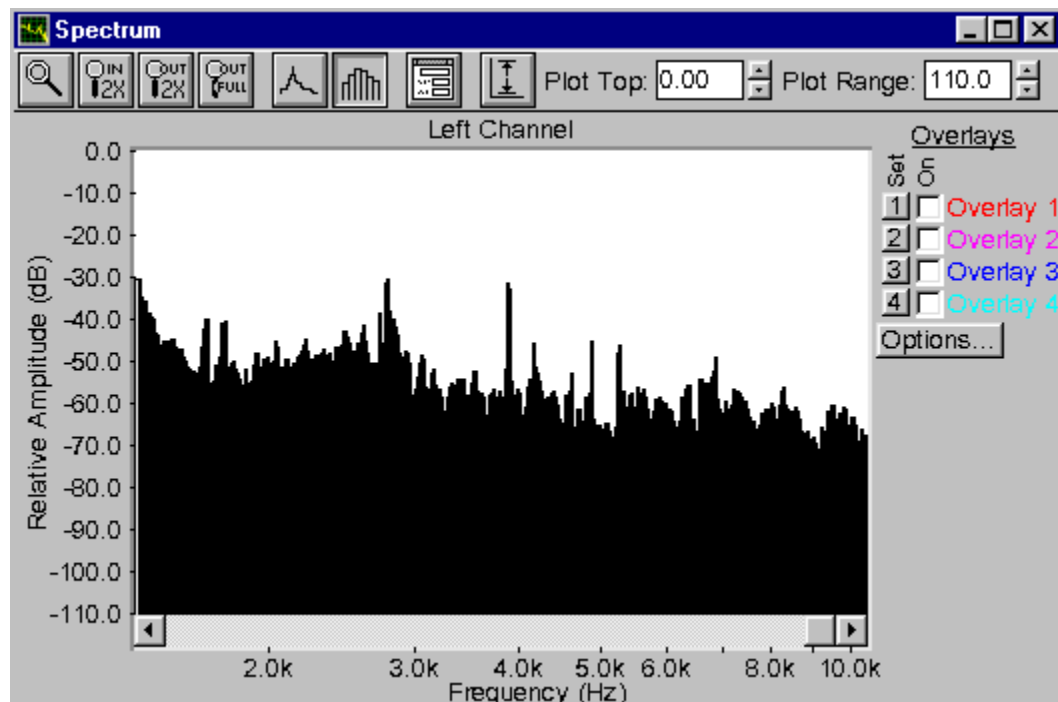


Рисунок 4.9 – Спектр сигналу час 0,1 секунда кількість точок 8192

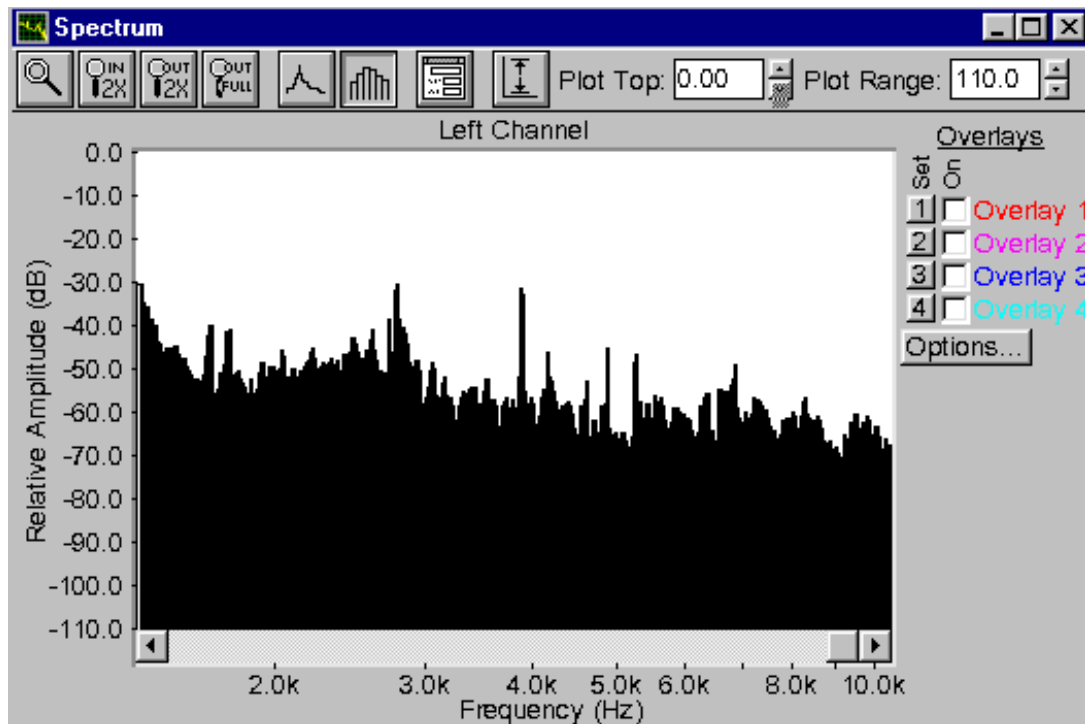


Рисунок 4.10 – Спектр сигналу час 0,2 секунди, кількість точок 8192

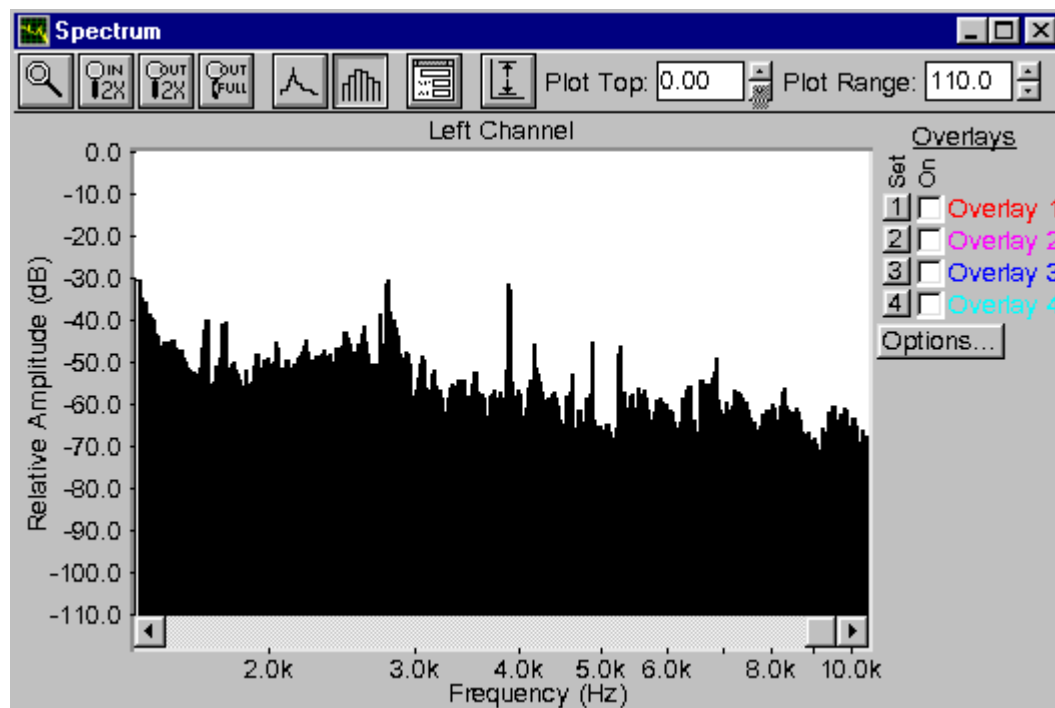


Рисунок 4.11 – Спектр сигналу час 0,3 секунди, кількість точок 8192

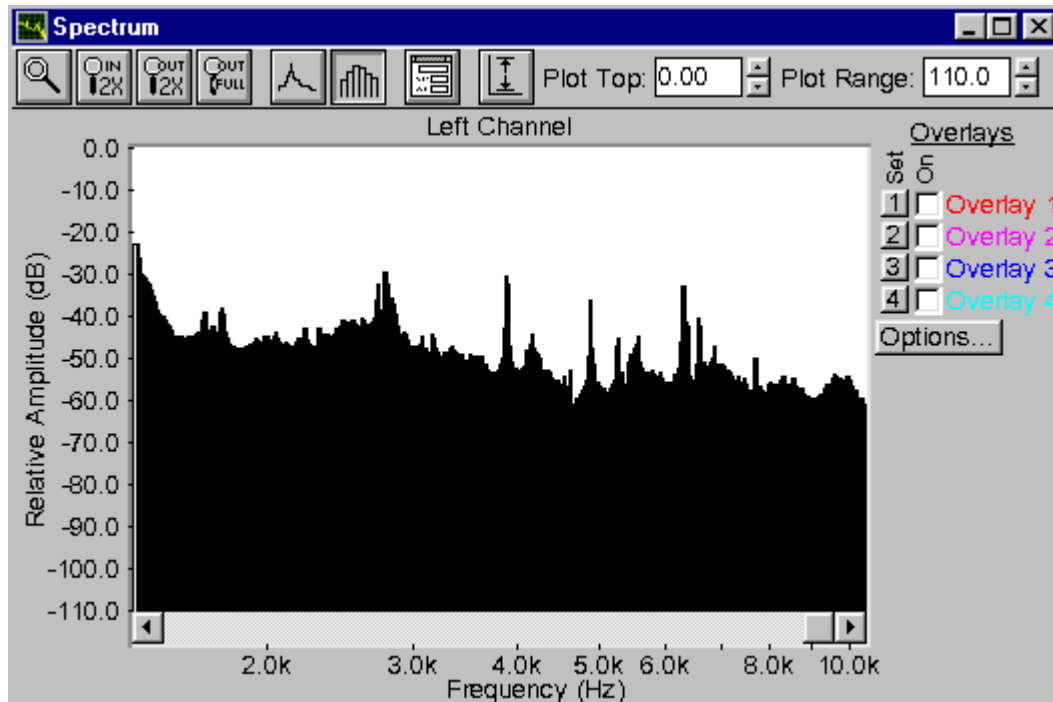


Рисунок 4.12 – Спектр сигналу час 2 секунди, кількість точок 8192

Як бачимо з приведених рисунків, середній спектр процесу не дуже сильно залежить від довжини процесу, але краще використовувати для визначення середнього спектру час не менше 0,5 секунд, так щоб в цьому часі було не менше 1024 точки.

Як бачимо на рисунку 4.4 спектр процесу нагнітання палива має чітко виражені складові. Спектр показаний для частот від 1 Гц до 10000 Гц. Вісі графіку вибрані логарифмічними. Крім того, в діагностичних установках для покращення виділення сигналу застосовують фільтрування. Як правило застосовують фільтри низьких частот, або октавні, пів октавні, чверть октавні та інші фільтри. Як видно на рисунку 4.4 на спектрі присутні піки, на частотах 1394 Гц, 2796 Гц, 3856 Гц, 4862 Гц, 6355 Гц, якщо провести по цим пікам огинаючу

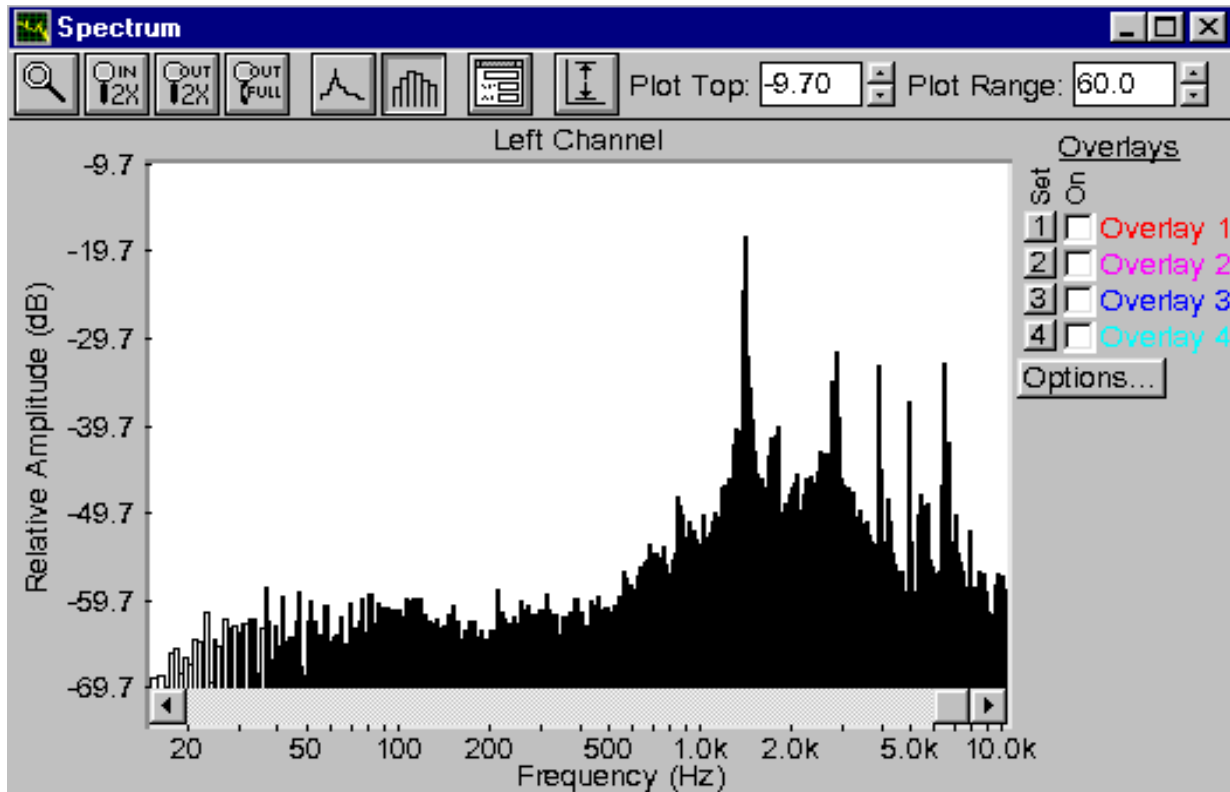


Рисунок 4.13 – Спектр сигналу, зображеного на рисунку 4.1.

Огинаюча апроксимується проліномом Lagrangian Interpolation:
 $y = a + bx + cx^2 + dx^3 + \dots$

Coefficient Data:

$$a = 0$$

$$b = 0.0036063595$$

$$c = -2.4525462e-005$$

$$d = 1.1927329e-008$$

$$e = -2.1942852e-012$$

$$f = 1.401765e-016$$

Таким чином отримуємо криву:

$$y = 0,0036x - 2,45x^2 + 1,19x^3 - 2,19x^4 + 1,402x^5$$

Для сигналу зображеного на рис 2 отримуємо спектр:

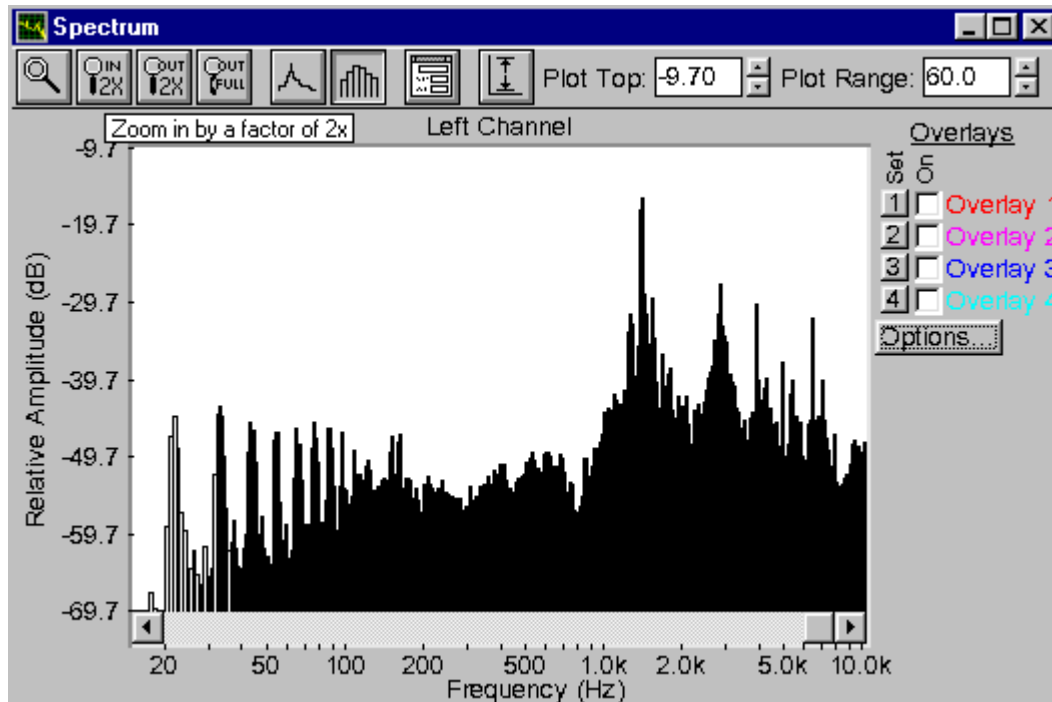


Рис. 4.14 – Спектр імпульсів в паливо проводі при $n=1200$ об/хв..

Як видно н рис. 5 спектр має піки на частотах 1394 Гц, 2796 Гц, 3856 Гц, 4862 Гц, 6355 Гц. Побудувавши огибаючу, та знайшовши її формулу отримаємо: Lagrangian Interpolation: $y=a+bx+cx^2+dx^3...$

Coefficient Data:

$$a = 74.054031$$

$$b = -0.12124262$$

$$c = 5.3438679e-005$$

$$d = -1.0128405e-008$$

$$e = 6.7813825e-013$$

Рівняння цієї кривої буде:

$$y = 74,05 - 0,12x + 5,343x^2 - 1,012x^3 + 6,78x^4$$

Різниця між спектрами при застосуванні 1/1 октавного фільтру зображена на рис. 4.15.

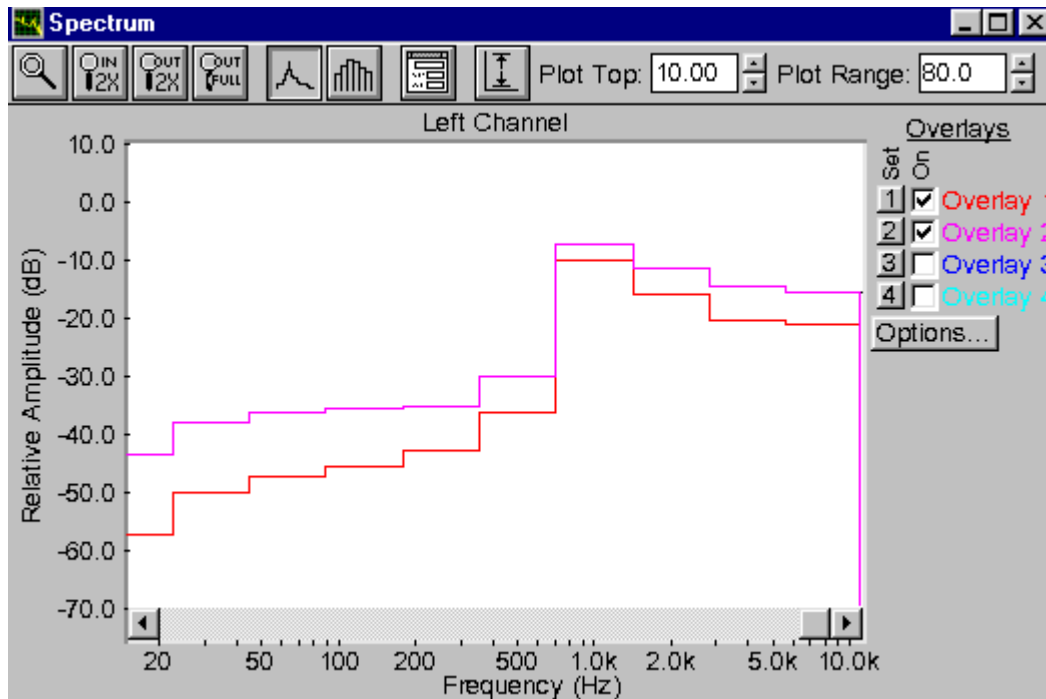


Рис. 4.15 – Різниця між спектрами кривих при різних частотах обертання кулачкового валу насоса 1- $n=600$ об/хв, $n=1200$ об/хв..

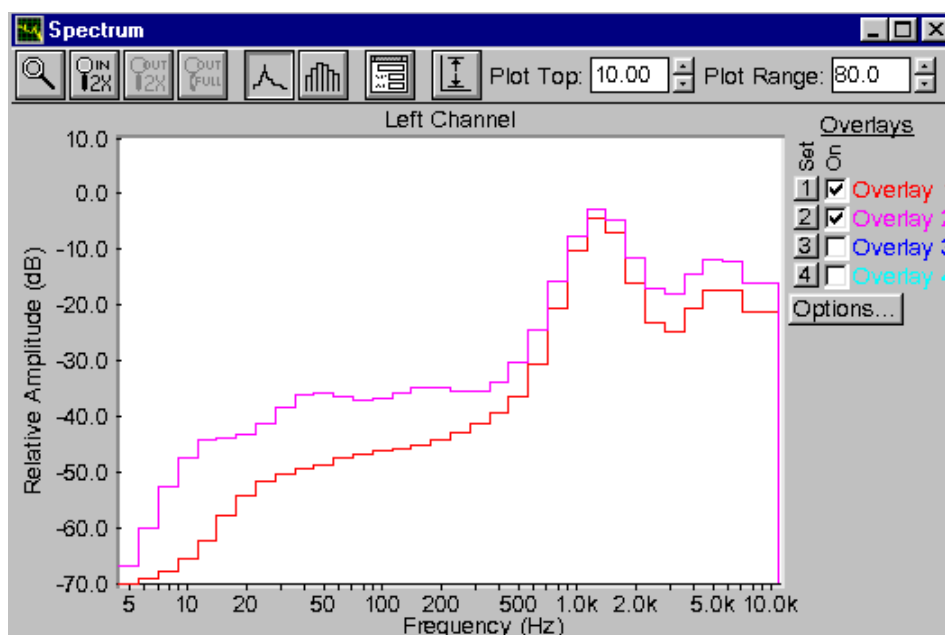


Рисунок 4.16 – Спектр сигналу при використанні 1/3 октавного фільтру
Як бачимо з останнього рисунку застосування 1/3 октавного фільтру дає більше корисної інформації про діагностичний сигнал.

Таким чином, використовуючи перетворення Фур'є, та фільтрування сигналу, ми отримуємо діагностичні признаки зміни циклової подачі палива в залежності від зміни оборотів кулачкового валу насоса високого тиску.

Збільшення оборотів викликає зміну спектрів сигналів, тобто такий метод можна застосовувати для діагностування паливної апаратури дизельних двигунів. При цьому зменшується час діагностування, та є можливість вивести людину з етапу постановки діагнозу.

Для діагностування можна також використовувати об'ємні спектрограми:

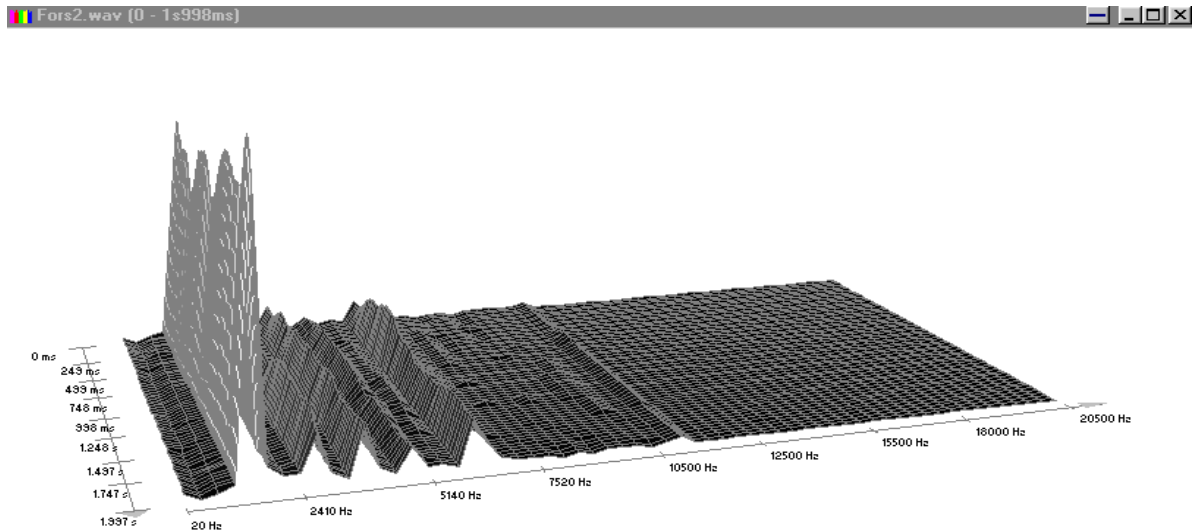


Рисунок 4.17 – Об'ємна діаграма спектру сигналу в паливопроводі високого тиску

впорскування немає:

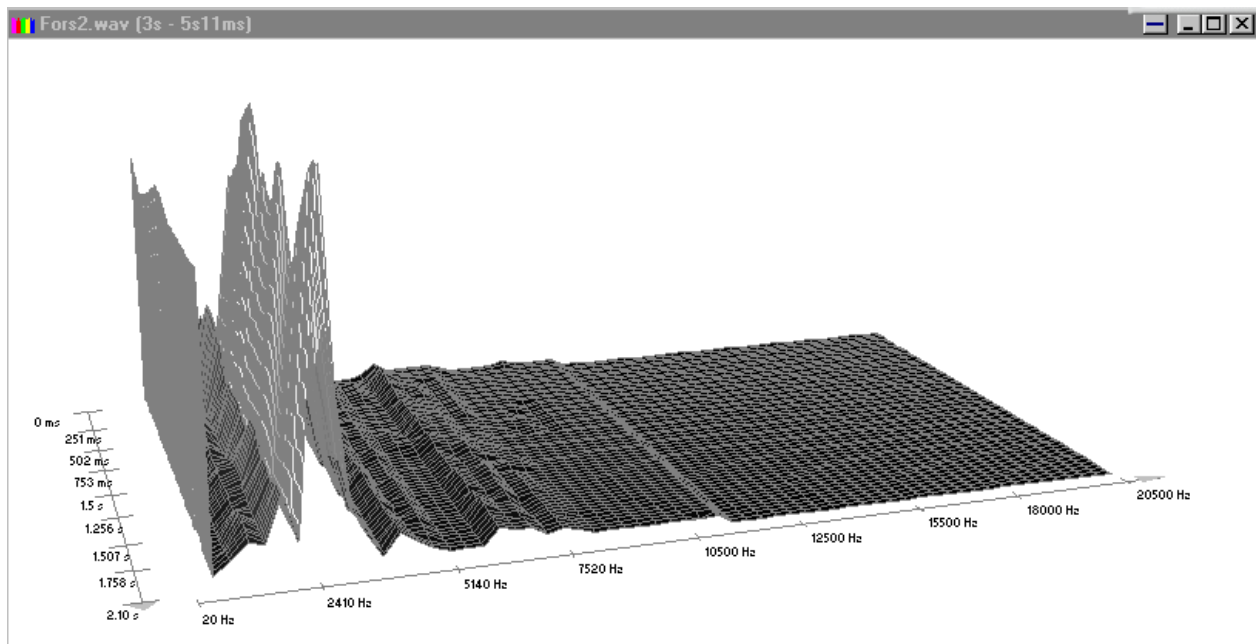


Рисунок 4.18 – Об'ємний спектр сигналу коли впорскування немає

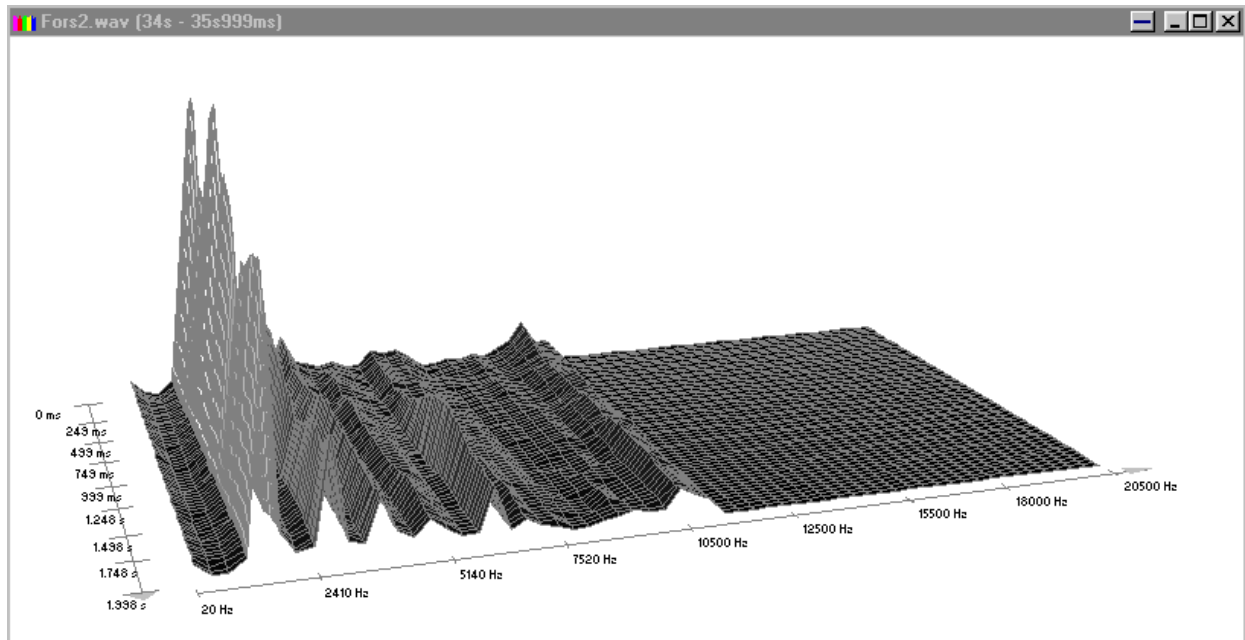


Рисунок 4.19 – Об'ємний спектр сигналу при збільшенні частоти обертання кулачкового валу насосу

4.2. Застосування Байєсівського методу діагностування

Для визначення доцільності застосування запропонованих методів виявлення невірностей були проведені експлуатаційні дослідження на прикладі двигуна Джон Дір. Двигун був оснащений рециркуляцією відпрацьованих газів та турбонаддувом з системою VGT. В цьому розділі основну увагу приділяють діагностиці системи живлення (тільки подачі повітря) і системі викидів відпрацьованих газів (рис. 4.1). У системі газового потоку існує 10 діагностичних компонентів (табл. 4.1). В цьому випадку всі розглянуті складові обладнанні датчиками всі інші компоненти (труби, кабелі та виконавчі механізми) не обладнанні датчиками, але вони також можуть бути діагностовано цим методом. В ДВЗ є багато інших компонентів, які можуть вийти з ладу, але вони не враховуються в цих експериментах.

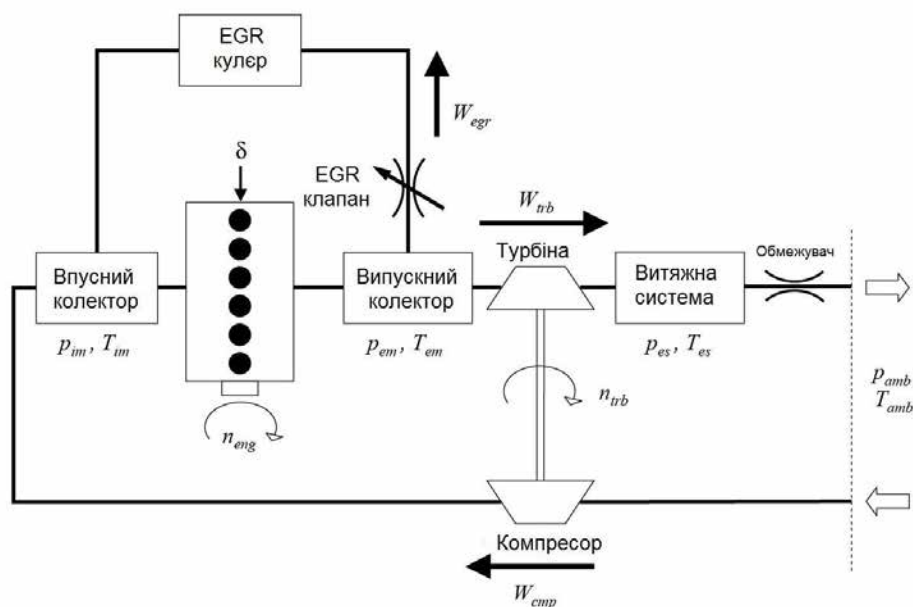


Рис. 4.1. Схематична схема потоку повітря та газу через дизельний двигун з EGR та VGT.

Таблиця 4.1 – Датчики в дизельному двигуні

Датчик	Опис
p_{em}	Тиск вихлопних газів
p_{im}	Тиск у вхідному колекторі
T_{im}	Температура у впускному колекторі
p_{amb}	Тиск навколишнього середовища
T_{amb}	Температура навколишнього середовища
u_{EGR}	Положення клапана EGR
u_{vgt}	Положення клапана VGT
w_{cmp}	Потік через компресор
n_{eng}	Частота обертання колінчастого вала
n_{trb}	Швидкість турбіни

В розроблені вимірювання проводяться датчиками представленими в табл. 4.1, але надзвичайно важко визначити несправність за безпосередньо вимірними результатами. Тому результат отримуємо за допомогою моделей та вимірювань. Результат це функція відомих змінних (вимірювання датчиків), яка у випадку справності близька до нуля, а у випадку несправності відхиляється від нуля. Якщо дефект присутній, а результат відхиляється від нуля то можна стверджувати, що функція реагує на несправність. Результат дискретизується, а дискретизовані результати використовуються як спостереження. Для поточного застосування результати формуються автоматично з допомогою моделі ДВЗ, структурного аналізу та схеми реалізації.

На рис. 4.2. побудовано один з автоматично генерованих результатів. У верхньому графіку несправність w_{cmp} з'являється при $t = 700$ °С, а в нижньому графіку несправність в t_{im} з'являється при $t = 620$ °С. Результати дискретизують, а потім використовують як спостереження. Структура несправностей або спостереження представлені в табл. 3.2. Той факт, що несправність компонента c_i теоретично може вплинути на спостереження d_j позначимо значком X .

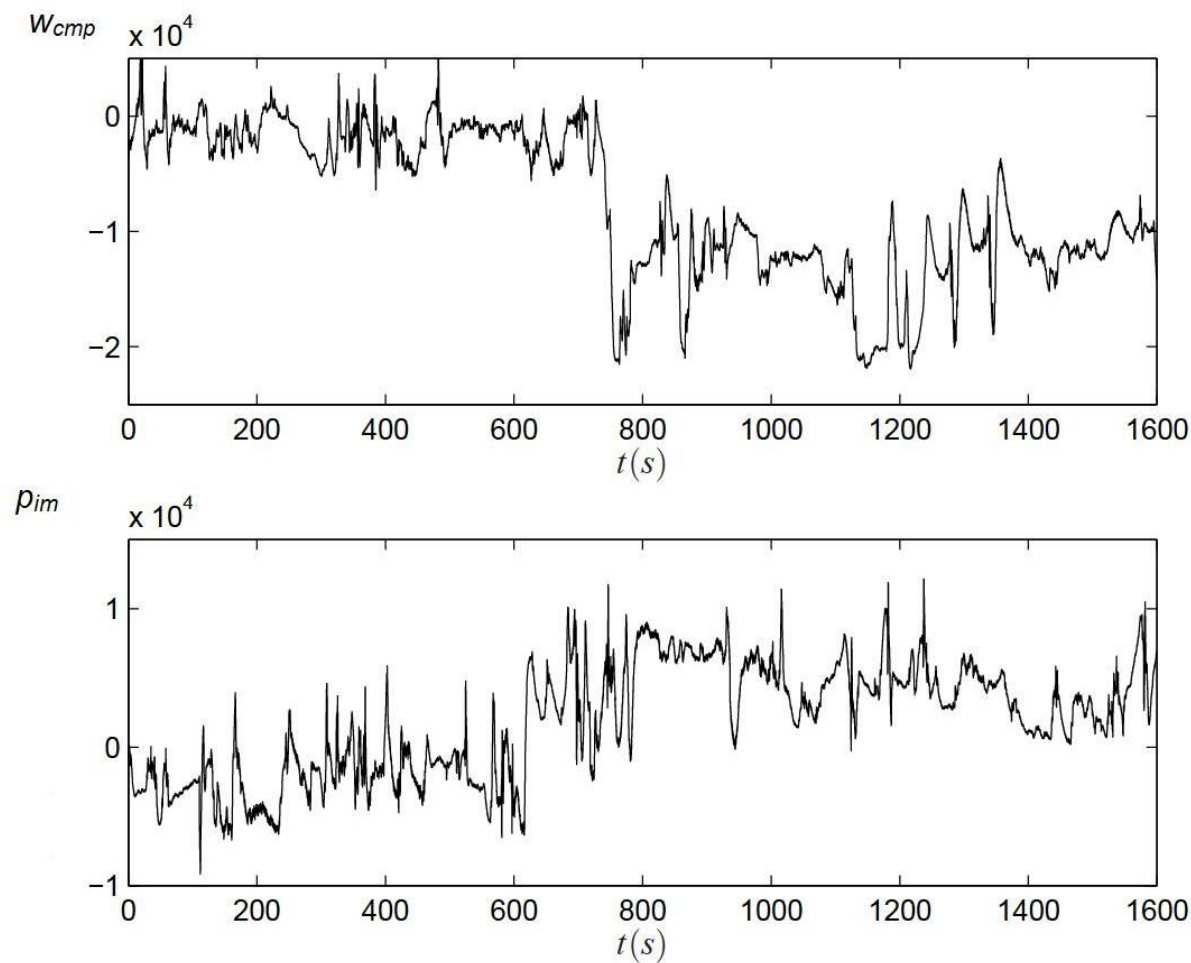


Рис. 4.2. Один із автоматично генерованих результатів. У верхньому графіку несправність w_{cmp} з'являється при $t = 700$ °С, а в нижньому графіку несправність у t_{im} з'являється при $t = 620$ °С.

Структура імовірності вказує на структуру прийняття рішень, але результати імовірності походять від математичних співвідношень, тоді як структура прийняття рішень базується на подвійних спостереженнях. При значенні рішення «0» означає, що результат не переходить дозволених меж для цієї несправності. В свою чергу це пов'язано з відсутністю несправності або з тим, що занадто високо встановлено поріг.

Кожен з компонентів має п'ять кінцевих значень: відсутність помилки, позитивні та негативні упередження та позитивні та негативні підсилення. Метою діагностики є виявити несправний компонент системи.

Таблиця – 4.2. Структура утворення результатів в експерименті

	n_{eng}	n_{trb}	p_{amb}	p_{em}	p_{im}	t_{amb}	t_{im}	u_{EGR}	u_{vgt}	w_{cmp}
d_1	0	X	X	0	X	X	0	0	0	X
d_2	0	X	X	0	X	X	0	0	0	X
d_3	X	X	X	0	0	X	X	X	X	0
d_4	X	X	X	0	0	0	X	X	X	X
d_5	X	X	X	X	X	X	X	X	0	0
d_6	X	X	X	X	X	0	X	X	0	X
d_7	X	X	X	X	0	X	X	X	X	0
d_8	X	X	X	X	0	X	X	X	0	X
d_9	X	X	X	0	X	X	X	X	X	0
d_{10}	X	X	X	0	X	0	X	X	X	X
d_{11}	X	0	X	X	0	X	X	X	X	0
d_{12}	X	0	X	X	0	0	X	X	X	X
d_{13}	X	0	X	0	X	X	X	X	X	0
d_{14}	X	0	X	0	X	0	X	X	X	X
d_{15}	X	X	X	X	0	X	X	X	0	X
d_{16}	X	X	X	0	X	X	X	X	X	0
d_{17}	X	X	X	0	0	X	X	X	X	X
d_{18}	X	X	X	0	0	X	X	X	X	X

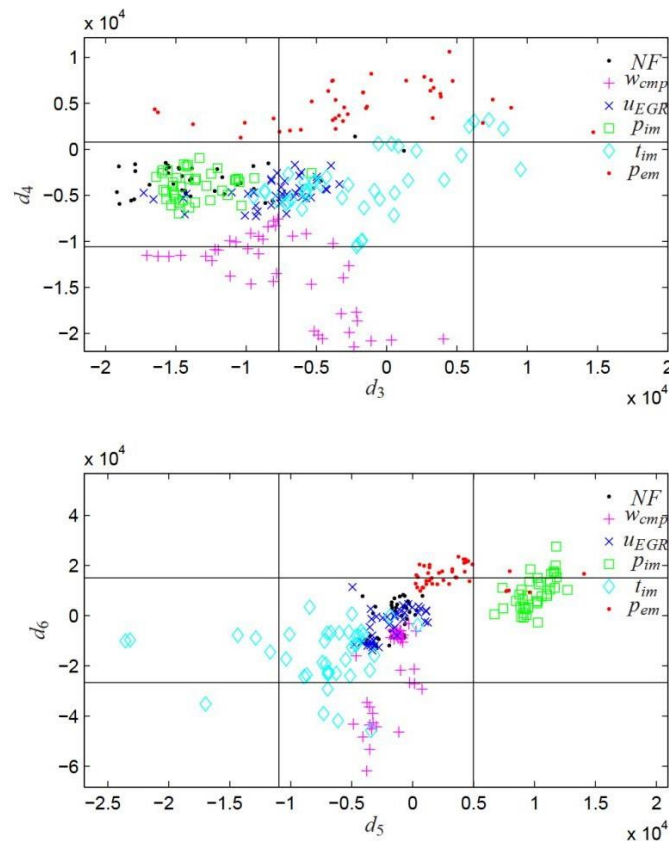
На даний час існують тільки навчальні дані з окремих несправностей n_{eng} , n_{trb} , p_{amb} , p_{em} , p_{im} , t_{amb} , t_{im} , u_{EGR} , u_{vgt} , w_{cmp} .

В даній роботі для діагностики дизельних двигунів використовується байєсівський метод ізоляції несправностей. Розроблена система представлена в табл. 4.2.

Використовуючи табличні данні (табл. 4.3) отримано результати роботи системи ізоляції представлених на рис. 4.3.

Таблиця 4.3 – Параметри, які використовуються.

Параметр	Значення
Спостереження	d_1, \dots, d_{10}
Дискретизація	$k_i = 3, K = 3^{10} \approx 60,000$
Режим діагностування	M_{train}
Навчальні данні $N^n f$	3000
Похибки даних N^B	3000
$p(m I)$	ВІДПОВІДНО
$p(d m = B, I)$	$\alpha_k^B = 1$
Оцінка режимів	$M_{train} \cup \{p_{em} \& u_{EGR}, p_{em} \& p_{im}\}$

Рис. 4.3. Результати спостережень d_3 та d_4 та d_5 та d_6 з діагностованих режимів.

На двох графіках (рис. 4.3) показано діагноз, коли основний режим – це раніше невідома помилка. Якщо очікується, що несправності в *УС* будуть частішими, попередня ймовірність цього режиму повинна бути збільшена.

Режим UC оцінюється з використанням даних двох випадків одночасних несправностей в p_{em} та u_{EGR}) та несправності в p_{em} та p_{im} . У першому випадку режиму UC присвоюється друга за величиною ймовірність, після режиму NF . У другому випадку режиму p_{im} присвоюється друга за величиною ймовірність. Причина полягає в тому, що дані з p_{im} & p_{em} нагадують дані з p_{im} . Очікуваний результат наведено на рис. 4.4.

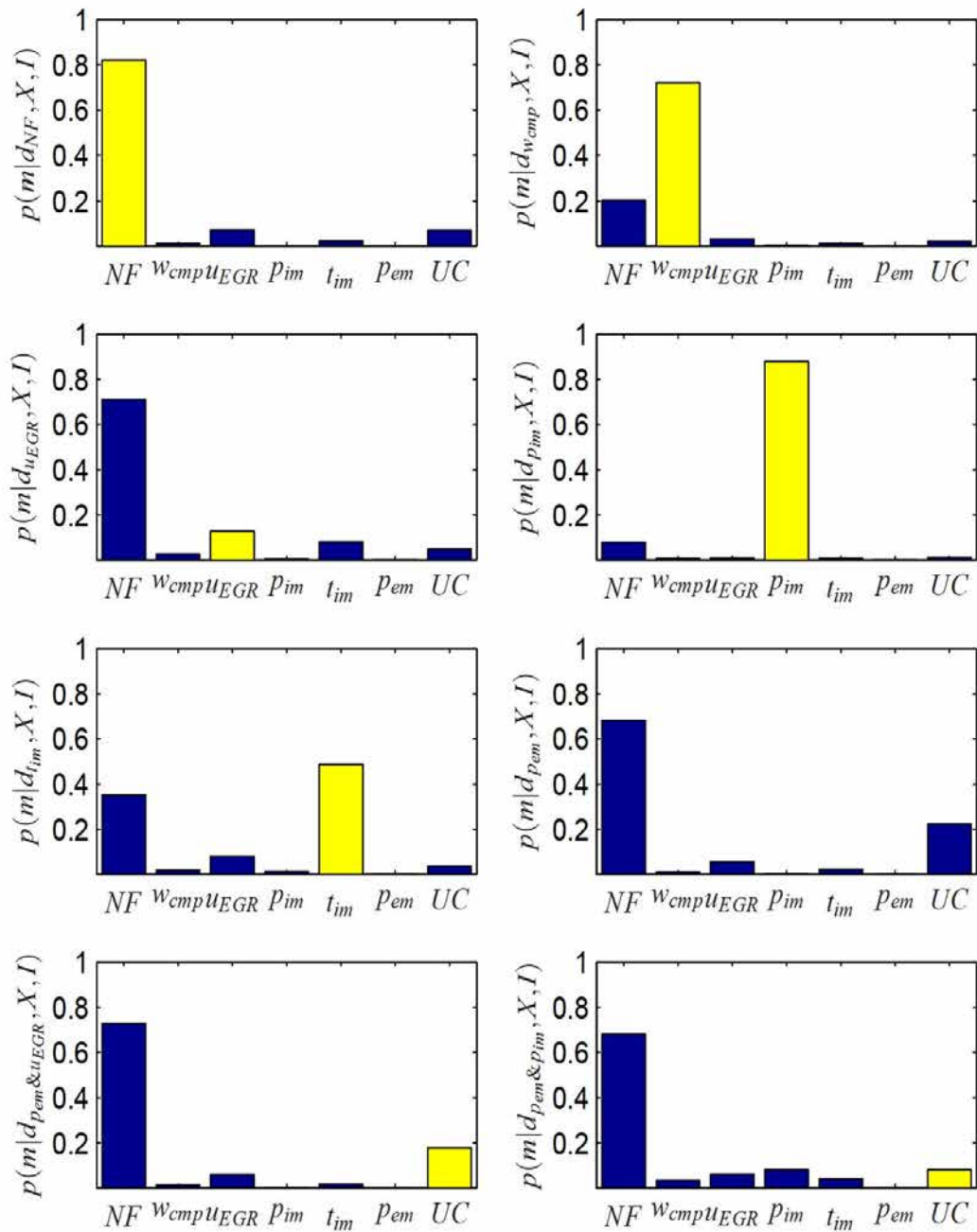


Рис. 4.4. Визначена ймовірність кожного режиму використовуючи систему ізоляції і оцінена на всіх режимах $M_{train} \cup \{p_{em} \& u_{EGR}, p_{em} \& p_{im}\}$.

Для визначення ефекту додавання значення навчальних даних використовували 10, 60, 300, 600, 3000 та 6000 навчальних зразків з кожного діагностованого режиму. В експерименті використовуються два спостереження d_2 і d_3 . Всі інші параметри під час експериментів підтримуються постійними.

Кількість збережених даних та середня очікувана достовірність, тобто середня вірогідність, присвоєна справжньому режиму представлені на рис. 4.5.

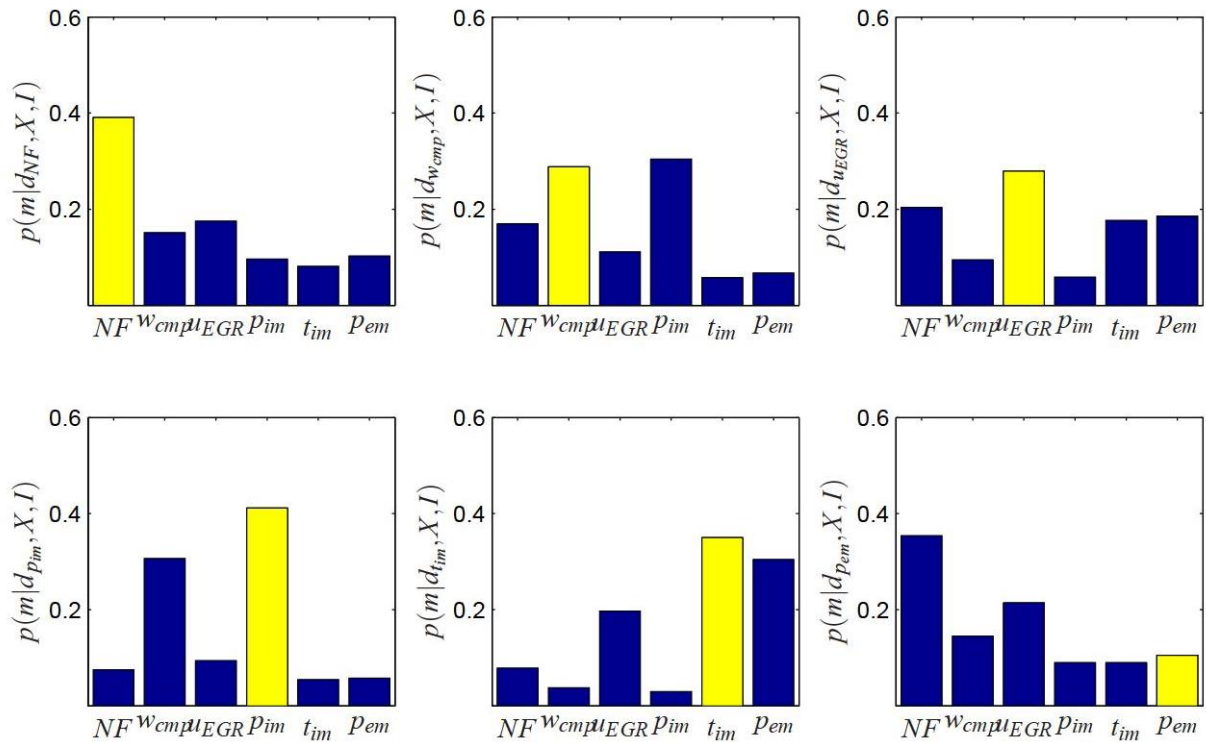


Рис. 4.5. Результат розробленої байєсівської діагностичної системи для дизельних двигунів сільськогосподарських машин

Зростання кількості даних призводить до корекції ймовірності результатів в більш об'єктивну сторону. Зростання кількості навчальних даних дає кращий діагностичний показник (рис. 4.6).

Коли застосовується дискретизація, для досягнення найкращої можливої ізоляції необхідно більше навчальних даних. Зокрема, для невеликої кількості навчальних даних система ізоляції з використанням $K_i = 3$ працює ефективніше, ніж система ізоляції з використанням $K_i = 6$.

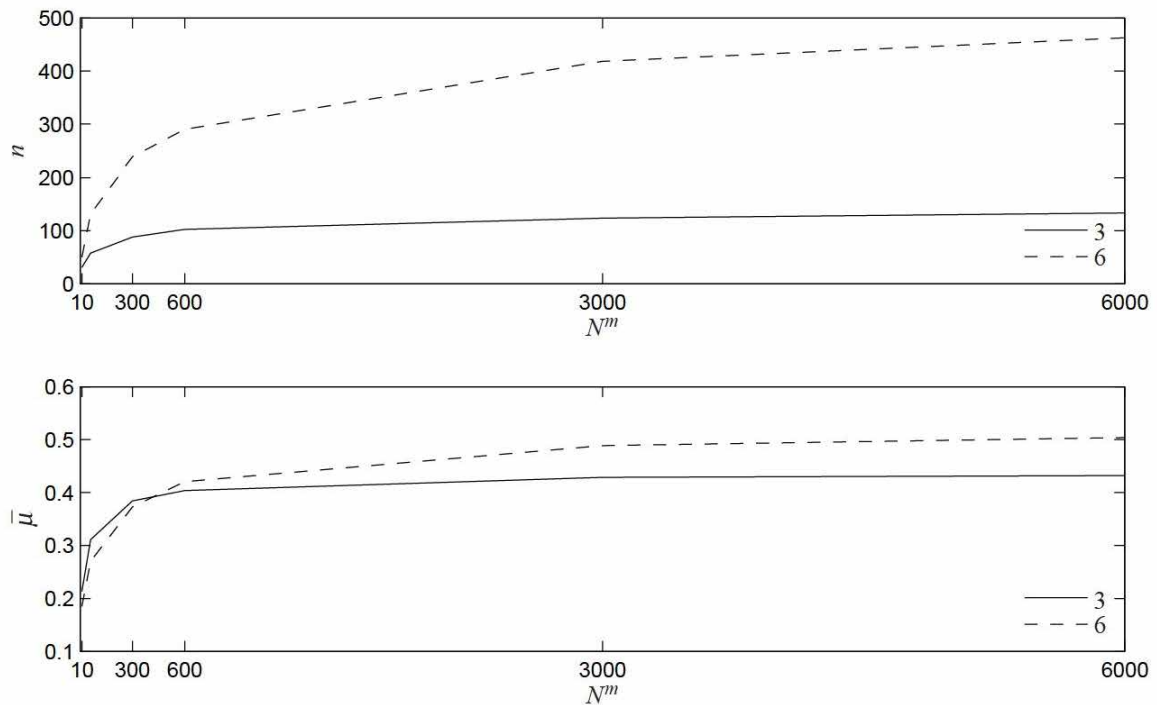


Рис. 4.6 Кількість збережених елементів та середня очікувана достовірність як функція кількості навчальних даних. Суцільна лінія представляє результати, коли спостереження, де $K_i = 3$ і пунктирна $K_i = 6$.

У цьому експерименті визначалися лише вплив кількості спостережень. Ефективність системи ізоляції також буде залежати від того, які спостереження будемо використовувати. Хоча це доволі цікаве питання, воно виходить за межі завдання, які отримані мною від керівника магістерської роботи.

Далі нами був проведений експеримент по визначенню впливу інформації, наданої структурою причинності. Структуру причинності отримують, замінюючи $X: s$ у структурі несправностей на знаки «-» в табл. 3.1..

Сама структура випадковості не означає, що її можна переписати як структуру причинності. Отже, відношення $p(d_i|B_j, X, I) = p(d_i|NF, X, I)$ для кожного 0 у рядку i та стовпці j перевіряється. Структура причинності для двох спостережень:

	NF	p_{em}	p_{im}	t_{im}	u_{EGR}	w_{cmp}
d_2	0	0	-	0	0	-
d_3	0	0	0	-	-	0

Розроблено дві системи ізоляції на основі двох спостережень d_2 і d_3 . В системі ізоляції I_0 використовується вихідна інформація I_0 , яка не включає жодної інформації про структуру причинності. В ізоляційній системі I_C використовується фонові інформація I_C , яка включає I_0 та структуру причинності C . Усі інші параметри однакові в обох ізоляційних системах.

На рисунку 4.7 показана ймовірність, присвоєна кожному режиму для системи ізоляції I_0 , а на рисунку 3.8 наведені ті ж результати для схеми ізоляції I_C .

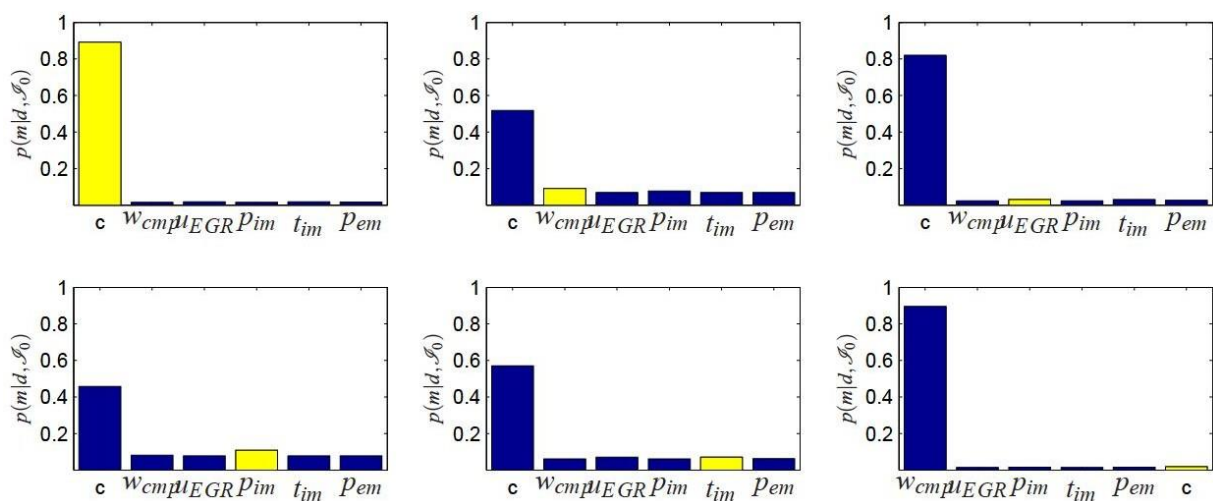


Рис. 4.7. Середня ймовірність різних режимів з використанням системи ізоляції I_0 .

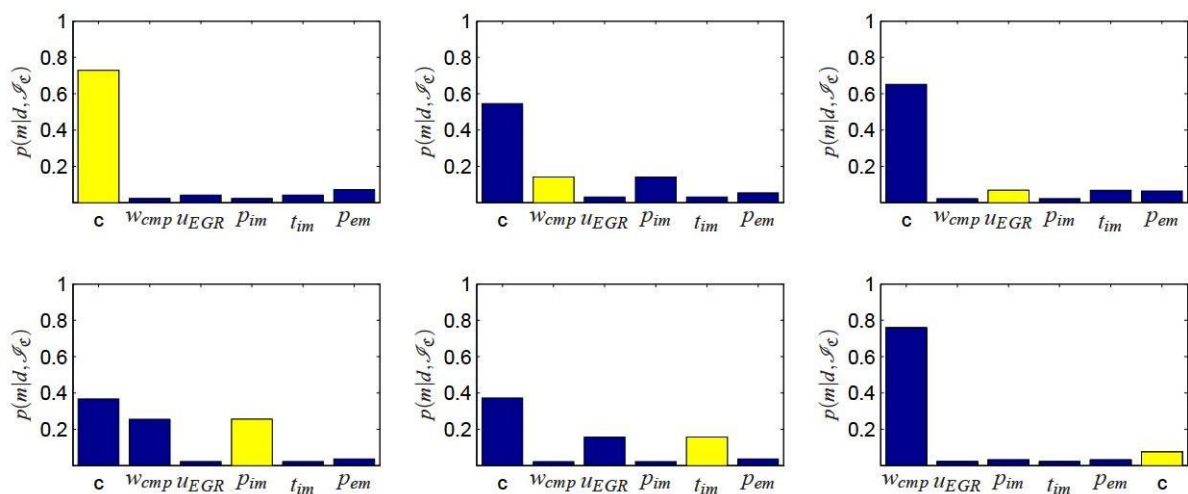


Рис. 4.8. Середня ймовірність різних режимів з використанням системи ізоляції I_{Cs}

Порівнюючи рисунки 3.7 та 3.8 видно, що всім несправностям присвоюється більша ймовірність, якщо замість системи ізоляції I_0 використовується система ізоляції I_C . Коли є несправність система ізоляції I_0 призначає майже однакові ймовірності всім несправностям. З іншого боку, система ізоляції I_C присвоює під множинним несправностям низьку ймовірність.

На рисунку 4.9 представлено середню ймовірність правильності для ізоляційних систем I_0 (чорний) та I_C (білий). Ізоляція всіх несправностей покращується за допомогою структури причинності. З іншого боку, зменшується ймовірність присвоєна NF , коли відсутні несправності.

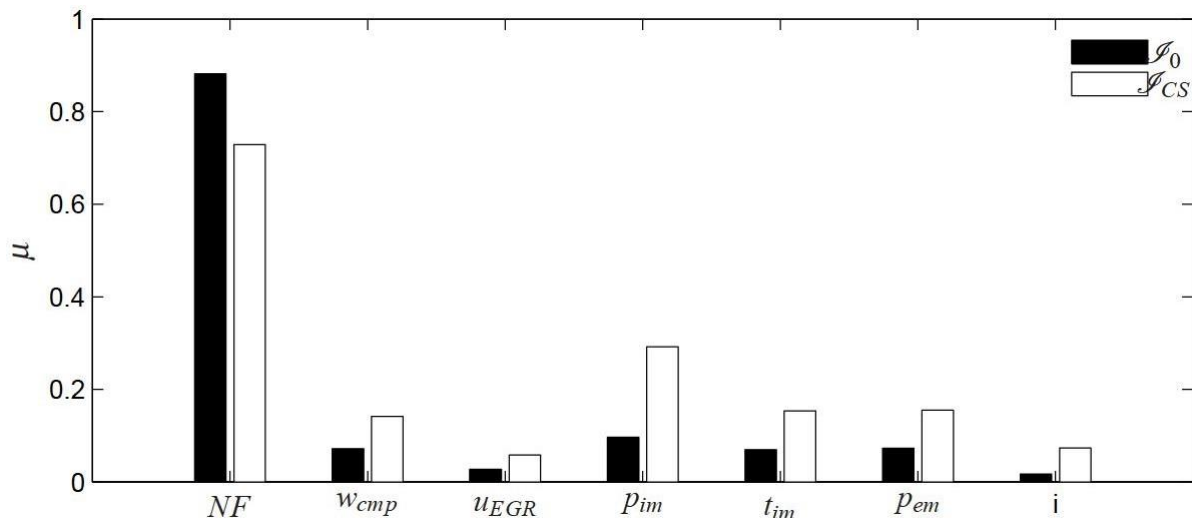


Рис. 4.9. Середня імовірність для системи ізоляції I_{CS} та для ізоляції I_0 , використовуючи ту саму попередню інформацію.

Висновки по розділу 4.

В даному розділі магістерської роботи експериментальним методом перевірено можливість застосування байєсовського підходу для усунення несправностей дизельного двигуна на основі його діагностики. Дані збираються з реальних умов експлуатації з реалізованими несправностями та

використовуються в розрахунках. В експериментах показано, що байєсівський підхід має хороший потенціал для діагностики сільськогосподарських машин і добре справляється із реальною проблемою. Порівняно з методами, заснованими на структурованих залишках, байєсівський підхід дає вищу ймовірність виявлення та кращу ізоляцію справжньої основної помилки.

ВИСНОВКИ

У магістерській роботі було розроблено байєсівський підхід для швидкого виявлення несправностей під час діагностування дизельних двигунів. Ідея полягає в тому, щоб обчислити ймовірність наявності певних несправностей в системі. Для цього використовується як якісна, так і кількісна інформація. Одним із важливих джерел інформації є «навчальні» дані, які збираються під час тест-драйвів з різними штучними несправностями.

Головною перевагою байєсівських методів, запропонованих у цій магістерській роботі, є можливість поєднання інформації з різними характеристиками. Це полегшує ізоляцію несправностей, з яких доступна лише розпливчата інформація. Крім того, байєсівський підхід дозволяє діагностувати раніше невідомі несправності, про які взагалі немає інформації. У поєднанні з теорією прийняття рішень, байєсівська теорія ймовірності є інструментом для визначення найкращих дій, які слід виконати для зменшення наслідків несправності.

Використання байєсівського підходу для виявлення несправностей для діагностики великих і складних систем може призвести до проблем з обчисленнями та зберіганням. У цій магістерській роботі представлено три пропозиції щодо вирішення цієї проблеми.

Представлені методи інтеграції додаткової інформації, такі як знання про ті помилки, які фактично впливають на кожне спостереження. Показано, як інформація, яка використовується в більш традиційних алгоритмах ізоляції, напр. метод структурованих залишків та алгоритм Шерлока, можна перевести в імовірнісні терміни.

Байєсовський підхід до усунення несправностей застосовано до діагностики дизельного двигуна. Дані збираються з реальних умов експлуатації з реалізованими несправностями та використовуються в розрахунках. В експериментах показано, що байєсівський підхід має хороший

потенціал для діагностики сільськогосподарських машин і добре справляється із реальною проблемою. Порівняно з методами, заснованими на структурованих залишках, байєсівський підхід дає вищу ймовірність виявлення та кращу ізоляцію справжньої основної помилки.

Аналіз стану проблеми показав, що найбільш перспективними діагностичними приладами є бортові автоматизовані діагностичні системи, які використовують віброакустичні методи і дозволяють вилучити оператора-діагноста з процесу діагностування.

Створено експериментальну установку та на основі матриці планування, проведено експеримент, в якому знайдено залежність амплітудно-частотної характеристики сигналів, знятих з паливопроводу високого тиску від несправностей паливної апаратури. Встановлено, що різні несправності паливної системи впливають на зміну амплітудно-частотної характеристики нагнітального паливопроводу в діапазоні від 20 Гц до 10 кГц.

Експериментально встановлено, що краще визначати спектр по кількості точок близько 65000.

Встановлено що середній спектр не дуже залежить від довжини процесу але краще брати час не менше 2 сек.

Опорні частоти розміщені на частотах 1394 Гц, 2796 Гц, 3856 Гц, 6355 Гц.

Визначаючи криву, яка описує огинаючу по опорним спектрам тим самим ми замінюємо матрицю даних, яка зберігається в пам'яті комп'ютера двовимірною кривою, що робить простішим процес розпізнавання несправностей.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Anders G. J. Innovations in power systems reliability. Springer. 2011. 361 p.
2. Delphi Diesel Systems, Publication №: DDNX125(EN) Delphi Diesel Aftermarket Operations UK, 2012. 76 p.
3. Endrenyi J. Comparison of two methods for evaluating the effects of maintenance on component and system reliability. IEEE International Conference Probabilistic Methods Applied to Power Systems. 2014. P. 307–312.
4. Endrenyi J. The Present Status of Maintenance Strategies and the Impact of Maintenance on Reliability. A Report of the Probability Application Subcommittee. IEEE Transactions on Power Systems. 2011. Vol. 16. № 4. P. 638–646.
5. Ge H. Maintenance optimization for substations with aging equipment: a dissertation for the degree of Phd. Lincoln, Nebraska. 2010. 212 p.
6. Hampel R., Kurr D., Sebeneder H. Elektronisches Messsystem zur digitalen Erfassung und Auswertung von Indikatordiagrammen. 2015. № 2. P. 33–38.
7. Latino M. A. Behavioral based reliability. Machinery Reliability Conference. 2020. April. <http://reliability.com/industry/articles/article36.pdf>.
8. Smykov S. V., Seregin A. A., Nikitchenko S. L., Kurochkin V. N., Valuev N. V. Hinged aggregate for technical maintenance of machines: Modeling, test-ing and conditions of application. Journal of Mechanical Science and Technology. 2018. T. 32. № 8. C. 3807-3815.
9. Wegrzyn, J. Liquefied Natural Gas for Trucks and Buses. SAE Technical Paper Series. 2018. № 2000-01-2210.
10. Zehn Prozent Biokraftstoff für Alle. Verein Deutscher Ingenieure. VDI-Nachrichten. 2015. Jg. 59. № 47. 8 p.
11. Hunt D. Farm power and machinery management. Tenth edition. Agricultural Engineering. 2013. Dublin. Vol. 3. P. 1703-1709.
12. Onwualu A. P., Akubuo C. O., Ahaneku I. E. Fundamentals of Engineering for Agriculture Immaculate Publications Limited. 2 Aku street, Ogui New Layout, Enugu, Nigeria. 2006. 186 p.
13. Ojha T. P., Michael A. M. Principles of Agricultural Engineering. Vol. 1. Jain Brothers. New Delhi (sixth edition). 2012. 210 p.

14. Yohanna J. K., Ifem, J. L. C. Performance evaluation of field efficiency of farm machinery in Nasarawa and plateau state. Proceeding of the Nigerian Institution of Agricultural Engineers. 2013. P. 88-92.
15. Kepner R. A, Bainer R, Barger E. L. Principles of Farm Machinery, AVI Publishing Company Inc. Wester port. 2016. 208 p.
16. Oduma O., Igwe J. E., Ntunde D. I. Performance evaluation of field efficiencies of some tractor drawn implement in Ebonyi State. International Journal of Engineering and Technology. 2015. Vol. 5(4). P. 45-50.
17. Agricultural field machinery selection and utilization for improved farm operations in South-East Nigeria: A review. Available from: https://www.researchgate.net/publication/335951790_Agricultural_field_machinery_selection_and_utilization_for_improved_farm_operations_in_South-East_Nigeria_A_review [accessed Mar 02 2020].
18. William E. Crop – Machinery Management. Lower State University Extension and Outreach. Dept. of Economics, 2015. P. 641-732-5574.
19. Аніскевич Л. В. Системи керування нормами внесення матеріалів в технологіях точного землеробства : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра техн. наук : 05.05.11 Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва. Київ. 2005. 36 с.
20. Аулін В. В., Голуб Д. В., Гриньків А. В., Лисенко С. В. Методологічні і теоретичні основи забезпечення та підвищення надійності функціонування автомобільних транспортних систем: монографія. Кропивницький: Видавництво ТОВ "КОД", 2017. 370 с.
21. Аулін В. В., Гриньків А. В. Методика вибору діагностичних параметрів технічного стану 248 транспортних засобів на основі теорії сенситивів. Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів. 2016. №5. С. 109–116.
22. Аулін В. В., Гриньків А. В. Проблеми і задачі ефективності системи технічної експлуатації мобільної сільськогосподарської та автотранспортної техніки. Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія технічні науки. 2016. №2 (77). С. 36–41.
23. Аулін В. В., Гриньків А. В. Проблеми і задачі ефективності системи технічної експлуатації мобільної сільськогосподарської та автотранспортної

техніки. Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія технічні науки. 2016. №2 (77). С. 36–41.

24. Аулін В. В., Гриньків А. В. Теоретичне обґрунтування моментів контролю технічного стану систем і агрегатів засобів транспорту. Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів. 2017. №8. С. 9–20.

25. Аулін В. В., Гриньків А. В., Замота Т. М. Забезпечення та підвищення експлуатаційної надійності транспортних засобів на основі використання методів теорії чутливості. Вісник інженерної академії України. 2015. №3. С. 66–72.

26. Аулін В. В., Лисенко С. В., Голуб Д. В., Гриньків А. В., Мартиненко О. Д. Теоретико-фізичний підхід до діагностичної інформації про технічний стан агрегатів мобільної сільськогосподарської техніки. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства. Харків. 2015. Вип. 158. С. 252–262.

27. Аулін В. В., Лисенко С. В., Кузик О. В., Гриньків А. В., Голуб Д. В. Трибофізичні основи підвищення надійності мобільної сільськогосподарської та автотранспортної техніки технологіями триботехнічного відновлення: монографія. Кропивницький. 2016. 304 с.

28. Бабанін О. Б. Наукові основи вдосконалення технології контролю, діагностування та матеріально-технічного забезпечення при технічному обслуговуванні локомотивів: Дис... докт. техн. наук: 05.22.07 Рухомий склад залізниць та тяга поїздів. Харківська державна академія залізничного транспорту. Харків, 2001. 288 с.

29. Бабіюк Г. В. Системне обґрунтування і розробка адаптивних способів забезпечення надійності гірничих виробок: Дис... докт. техн. наук 05.15.04 шахтне та підземне будівництво. Донбаський державний технічний університет. Дніпропетровськ, 2005. 522 с.

30. Біловод О. І. Підвищення надійності і обґрунтування параметрів процесу виробництва і відновлення розроблених дискових копачів бурякозбиральних машин : автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук : 05.05.11 Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва. Харків. 2008. 20 с.

31. Бірюков Д. С. Аналіз та оптимізація надійності складних систем з багатьма станами : автореф. дис... канд. техн. наук: 01.05.04. Київ. нац. ун-т імені Тараса Шевченка. Київ. 2009. 20 с.

32. Боднар Є. Б. Підвищення експлуатаційної надійності локомотивів шляхом впровадження раціональної системи утримування: Дис... канд. техн. наук 05.22.07 рухомий склад залізниць та тяга поїздів. Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. Харків, 2004. 161 с.

33. Бойко А. І. Тенденції розвитку вітчизняного сільгоспмашинобудування і проблем забезпечення надійності машин. Науковий вісник Національного аграрного університету. Київ. НАУ, 2004. Вип. 73. Ч. 2. С. 181–183.

34. Бойко Ю. Ф. Исследование и обоснование технологического процесса технического обслуживания трактора сельскохозяйственного назначения (на примере трактора Т-40А). Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.20.03 эксплуатация и ремонт сельскохозяйственных машины и орудий. Государственный всесоюзный научно-исследовательский технологический институт ремонта и эксплуатации машинно-тракторного парка. Київ. 1977. 19 с.

35. Бондаренко В. В. Удосконалення технології технічного обслуговування та діагностування електрообладнання пасажирських вагонів: Дис... канд. техн. наук 05.22.07 рухомий склад залізниць та тяга поїздів. Українська державна академія залізничного транспорту. Харків. 2002. 194 с.

36. Боузаїєнне Меккі бен Салем. Удосконалення урахування впливу регіональних факторів на процес технічного обслуговування авіаційної техніки (на прикладі району Середземного моря): дис... канд. техн. наук: 05.22.20. Національний авіаційний ун-т. Київ. 2006. 186 с.

37. Броди С. М., Погосян И. А. Вложенные стохастические процессы в теории массового обслуживания. Київ. Наукова думка. 1973. 127 с.

38. Адамчук В. В. Стан наукового забезпечення механізації сільського господарства в Україні. Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України. Дослідницьке: УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого, 2009. Вип. 13., кн. 1. С. 21–29.

39. Гуков Я. С. Наукове забезпечення формування державної політики стосовно відтворення та оновлення матеріально-технічної бази агропромислових підприємств. Механізація та електрифікація сільського господарства. 2008. Вип. 92. С. 13–25.

40. Агєєва І. В. Розвиток системи інженерно-технічного обслуговування. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Харків, 2007. Вип. 54. С. 160–168.

41. Демко О. А. Вплив кваліфікації операторів на ефективність використання машин. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. 2009. Вип. 134, Ч.2. С. 159–169.

42. Васильєва Н. К. Економіко-математичне моделювання системного інноваційного оновлення аграрного виробництва : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра екон. наук : 08.00.11 Математичні методи, моделі та інформаційні технології в економіці. Київ. 2007. 36 с.

43. Войтюк В. Д. Техніко-технологічний розвиток системи сервісу енергонасиченої сільськогосподарської техніки : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра техн. наук : 05.05.11 Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва. Мелітополь, 2012. 39 с.

44. Волк М. О. Методи та засоби розподіленого імітаційного моделювання електронних систем: дис... канд. техн. наук 01.05.02 Математичне моделювання та обчислювальні методи. Харківський державний технічний університет радіоелектроніки. Харків, 1999. 189 с.

45. Волох О. П. Методика обґрунтування раціональних значень параметрів технічного обслуговування машин інженерного озброєння при їх використанні за призначенням: Дис... канд. техн. наук: 20.02.14 Озброєння і військова техніка. Військовий інженерний інститут Подільського державного аграрно–технічного університету. Кам'янець-Подільський, 2006. 175 с.

46. Грабко В. В. Методи і пристрої для технічної діагностики та автоматичного керування силовим електрообладнанням: дис... д-р техн. наук: 05.13.05 Елементи та пристрої обчислювальної техніки та систем керування. Вінницький національний технічний університет. Вінниця, 2004. 384 с.

47. Кузьмінський Р. Д. Системно-функціональні засади синтезу технологічних ліній і дільниць ремонту вузлів та агрегатів мобільної техніки рільництва : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра техн. наук : 05.05.11 Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва. Глеваха, 2013. 40 с.

48. Кухтов В. Г. Методи оцінки довговічності конструкцій шасі колісних тракторів: Дис... д-р техн. наук: 05.22.20 Експлуатація та ремонт засобів транспорту. Харківський національний автомобільно-дорожній університет. Харків, 2006. 329 с.

49. Ларін О. М. Теоретичні основи оцінки працездатності шин легкового автомобіля в експлуатації: Дис... д-р техн. наук: 05.22.20 Експлуатація та ремонт засобів транспорту. Академія пожежної безпеки України. Львів, 2001. 344 с.

50. Лобода А. В. Розробка організаційної структури забезпечення якості в автосервісі: Дис... канд. техн. наук: 05.13.22. Національний транспортний ун-т. Київ. 2004. 162 с.

51. Ложковський А. Г. Аналіз і синтез систем розподілу інформації в умовах мультисервісного трафіка : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.12.02. Одес. нац. акад. зв'язку імені О.С. Попова. Одеса. 2010. 36 с.

52. Луханін М. І. Моделювання залізничних транспортних коридорів на базі поширених мереж Петрі: Дис... канд. техн. наук: 05.22.20. Українська держ. академія залізничного транспорту. Харків. 2003. 163 с.

53. Мамонова Г. В. Багатоканальні системи обслуговування у схемі усереднення та дифузійної апроксимації : автореф. дис... канд. фіз.-мат. наук: 01.05.04. Київ. нац. ун-т імені Тараса Шевченка. Київ. 2007. 18 с.

54. Мартиненко В. Я. Механіко-технологічні основи підвищення ефективності робочих органів гичкозбиральних машин: Дис... д-ра техн. наук: 05.05.11. ВАТ "Тернопільський комбайновий завод". Тернопіль. 2000. 374 с.

55. Мартинишин Я. М. Організація ремонтно-технічного обслуговування в аграрних підприємствах України : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра екон. наук : 08.00.04 Економіка та управління підприємствами. Миколаїв, 2009. 37 с.

56. Мигаль В. Д. Вібраційні методи оцінки якості тракторів на стадіях проектування, виготовлення та експлуатації: Дис... д-р техн. наук: 05.22.20 Експлуатація та ремонт засобів транспорту. Харківський національний автомобільно-дорожній університет. Харків, 2003. 513 с.

57. Молодик М. В. Основні напрями досліджень з підвищення надійності сільськогосподарської техніки при експлуатації, відновленні і ремонті. Вісник аграрної науки. 2010. № 5. С. 110–113.

58. Молодик М. В. Оцінювання надійності машин при експлуатації, технічному обслуговуванні і ремонті. Механізація та електрифікація сільського господарства. Глеваха, 2008. Вип. 92. С. 381–389.

59. Молодик М. В. Теоретичні передумови оцінки впливу технічного обслуговування і ремонту на надійність машин. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. КИЇВ. 2010. Вип. 144, ч. 1. С. 75–80.

60. Молодик М. В. Наукові основи системи технічного обслуговування і ремонту машин у сільському господарстві: монографія. Кіровоград: Код, 2009. 180 с.

61. Молодик М. В. Оцінка надійності електрообладнання зернозбиральних комбайнів. Механізація та електрифікація сільського господарства. Глеваха, 2010. Вип. 94. С. 419–425.

62. Морозов В. І. Вивчення якості роботи кормозбиральних машин. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка: Економічні науки. Харків: ХНТУСГ, 2017. Вип. 65. С. 166–171.

63. Норкін В. І. Стохастичні методи розв'язання задач неопуклого стохастичного програмування та їх застосування: Дис... докт. фіз.-мат. наук 01.05.01 Теоретичні основи інформатики та кібернетики. Інститут кібернетики імені В. М. Глушкова. Київ. 1998. 250 с.

64. Парацій В. А. Стохастичне прогнозування довговічності металоконструкцій причіпних обприскувачів: Дис... канд. техн. наук: 05.05.11. Тернопільський держ. технічний ун-т ім. Івана Пулюя. Тернопіль. 2000. 122 с.