

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет інженерії та енергетики

Кафедра машиновикористання та сервісу технологічних систем

**Кваліфікаційна робота
на правах рукопису**

ПАЛЕЙЧУК АНАСТАСІЯ ОЛЕКСІЇВНА

УДК 621.43

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**Розробка системи діагностування несправностей дизельних
двигунів із застосуванням акустичної емісії**

208 “Агроінженерія”

Подається на здобуття освітнього ступеня магістр

кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання
ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне
джерело _____ А.О. Палейчук

Керівник роботи

Куликівський В.Л.

кандидат технічних наук

Житомир – 2020

АНОТАЦІЯ

Палейчук Анастасія Олексіївна. Розробка системи діагностування несправностей дизельних двигунів із застосуванням акустичної емісії. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 208 – Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2020.

В роботі розроблена система діагностування несправностей дизельних двигунів на основі отримання сигналів акустичної емісії.

Система діагностування розроблялася на прикладі дизельного двигуна JCB 444T2. Під час дослідження виявлено, що сигнали акустичної емісії можуть бути об'єктивними параметрами для пошуку несправностей дизельних двигунів. Датчиків акустичної емісії повинні встановлюватися якомога ближче до джерела, для уникнення впливу сторонніх сигналів.

Запропонована система діагностики базується на упорядкуванні та опису наукових даних та виведення загальних властивостей із конкретних наборів спостережень. Розрахунок середньоквадратичних значень та дисперсії сигналу акустичної емісії дає швидкий показник стану, а інформацію про стан двигуна може оцінити оператор без необхідності спеціального навчання.

Впровадження даної системи в умовах сільськогосподарських підприємств дозволить уникнути високих витрат на технічне обслуговування завдяки посиленому моніторингу в режимі он-лайн та кращому виявленню несподіваних несправностей.

Ключові слова: дизельний двигун, акустична емісія, діагностування, несправності, система, метод

ANNOTATION

Paleichuk Anastasia Alekseevna. Development of a system for diagnosing malfunctions of diesel engines using acoustic emission. – *Qualification work on the rights of the manuscript.*

Qualifying work for a master's degree in specialty 208 – Agricultural Engineering. – Polissya National University, Zhytomyr, 2020.

The system of diagnosing malfunctions of diesel engines on the basis of receiving acoustic emission signals is developed in the work.

The diagnostic system was developed on the example of a JCB 444T2 diesel engine. The study found that acoustic emission signals can be objective parameters for troubleshooting diesel engines. Acoustic emission sensors should be installed as close as possible to the source to avoid exposure to extraneous signals.

The proposed diagnostic system is based on the organization and description of scientific data and the derivation of general properties from specific sets of observations. The calculation of the root mean square values and the variance of the acoustic emission signal gives a quick indicator of the state, and information about the state of the engine can be assessed by the operator without the need for special training.

The introduction of this system in the conditions of agricultural enterprises will avoid high maintenance costs due to enhanced online monitoring and better detection of unexpected faults.

Keywords: diesel engine, acoustic emission, diagnostics, malfunctions, system, method

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ З НАУКОВОЇ ПРОБЛЕМИ ДІАГНОСТУВАННЯ НЕСПРАВНОСТЕЙ ДИЗЕЛЬНИХ ДВИГУНІВ.....	7
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА СИСТЕМИ ДІАГНОСТУВАННЯ НЕСПРАВНОСТЕЙ ДИЗЕЛЬНИХ ДВИГУНІВ ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	14
РОЗДІЛ 3. АНАЛІЗ ДАНИХ РОЗРОБЛЕНОЇ СИСТЕМИ ДІАГНОСТУВАННЯ НЕСПРАВНОСТЕЙ ДИЗЕЛЬНИХ ДВИГУНІВ НА ОСНОВІ СИГНАЛІВ АКУСТИЧНОЇ ЕМІСІЇ.....	22
ВИСНОВКИ.....	27
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	28

ВСТУП

Контроль стану двигуна внутрішнього згорання покращує безпеку, продуктивність, підвищує експлуатаційні якості та зменшує витрати на технічне обслуговування та ремонт. Дослідженням сучасних систем контролю стану дизельних двигунів необхідно приділяти значну увагу через зростаючі вимоги до деталей двигунів так і через технічні обмеження існуючих способів. Один із перспективних способів моніторингу стану дизельних двигунів є діагностика за допомогою аналізу акустичної емісії, саме тому дослідження даного питання є безумовно актуальною задачею.

Мета і задачі дослідження. Мета дослідження – підвищити ефективність та якість діагностики дизельних двигунів сільськогосподарських машин за рахунок розробки сучасної системи діагностування на основі аналізу сигналів акустичної емісії.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- Провести аналіз існуючих методів діагностики дизельних двигунів та виявити їх переваги та недоліки;
- Розробити сучасну систему діагностики дизельних двигунів;
- Провести дослідження розробленої системи та визначити значення сигналів акустичної емісії для нормальної роботи дизельного двигуна та роботи з несправностями.

Об'єкт дослідження – процес діагностування дизельного двигуна.

Предмет дослідження: взаємозв'язок величини сигналів акустичної емісії з технічним станом вузлів, агрегатів та деталей дизельного двигуна.

Методи дослідження. Дослідження виконано з використанням методів акустичної емісії, неруйнівного контролю, спектроскопії та автоматичні методи визначення стану об'єкта. Обробку експериментальних досліджень здійснено за допомогою прикладних комп'ютерних програм графоаналітичним методом.

Перелік публікацій за темою роботи:

1. **Палейчук А. О.** Principal faults in diesel engines. Збірник матеріалів І Всеукраїнської студентської науково-практичної конференції *«Теорія і практика сучасної науки очима молоді»* 26 березня 2020 року (проведено онлайн 30 квітня 2020 року) м. Харків : ХНТУСГ ім. П. Василенка. С. 112-113.

2. Палійчук В. К., Боровський В. М., **Палейчук А. О.** Моніторинг вібрацій дизельних двигунів. Збірник тез доповідей V-ї міжнародної науково-технічної конференції з нагоди 113-ї річниці від дня народження доктора технічних наук, професора, члена-кореспондента ВАСГНІЛ, віце-президента УАСГН Крамарова Володимира Савовича (1906-1987) *«Крамаровські читання»* 20-21 лютого 2020 року м. Київ : НУБІП України. С. 174-175.

3. **Palejchuk A. O.** A review of diesel engine condition monitoring. Матеріали XXI Міжнародної наукової конференції *„Сучасні проблеми землеробської механіки”* присвяченої 90-річчю Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка та 120-й річниці з дня народження академіка Петра Мефодійовича Василенка. 17 – 18 жовтня 2020 року Харків : ХНТУСГ ім. П. Василенка. С. 75-77.

Практичне значення одержаних результатів. Основні результати досліджень спрямовані на підвищення надійності сільськогосподарських машин шляхом виявлення несправностей дизельних двигунів в реальному часі їх експлуатації. Результати роботи рекомендовано впровадити в умах сільськогосподарських підприємств України.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається із вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 30 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 30 сторінок комп'ютерного тексту містить 1 таблицю і 14 рисунків.

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ З НАУКОВОЇ ПРОБЛЕМИ ДІАГНОСТУВАННЯ НЕСПРАВНОСТЕЙ ДИЗЕЛЬНИХ ДВИГУНІВ

Дизельні двигуни набули широкого розповсюдження в сільськогосподарській техніці (трактори, комбайни, вантажних автомобілів, опрыскувачі та ін.). При нормальній роботі такі двигуни можуть забезпечити тисячі годин безперервної роботи у разі дотримання системи обслуговування. Однак, в разі виникнення незначного відхилення в роботі двигуна це може призвести до втрати працездатного стану і значних економічних втрат. Саме тому пошук надійних, об'єктивних та «чутливих» методів контролю стану двигуна є першочерговою задачею [1 - 7].

Дизельні двигуни під час роботи використовують високий ступінь стиснення створюючи при цьому високий тиск і температуру, для виникнення процесу самозаймання паливної суміші [8]. Слід відмітити також, що швидкість обертання колінчастого вала двигуна становить 3000 об/хв.. Висока швидкість, високий тиск і висока температура збільшує ризики виникнення несправностей у двигуні. На рис. 1.1. представлено класифікація несправностей за системами та компонентами дизельного двигуна сільськогосподарських машин [9].

Одним із найменш надійним елементом дизельного двигуна є система впорскування палива, на яку припадає приблизно 45% всіх несправностей дизельних двигунів. Данні несправності безпосередньо впливають на ефективність двигуна, шкідливі викиди в атмосферу, шум двигуна та інші параметри. Також велика доля несправностей припадає на систему мащення. Несправності даної системи безпосередньо впливають на потужність двигуна, шкідливі викиди та інші параметри продуктивності двигуна

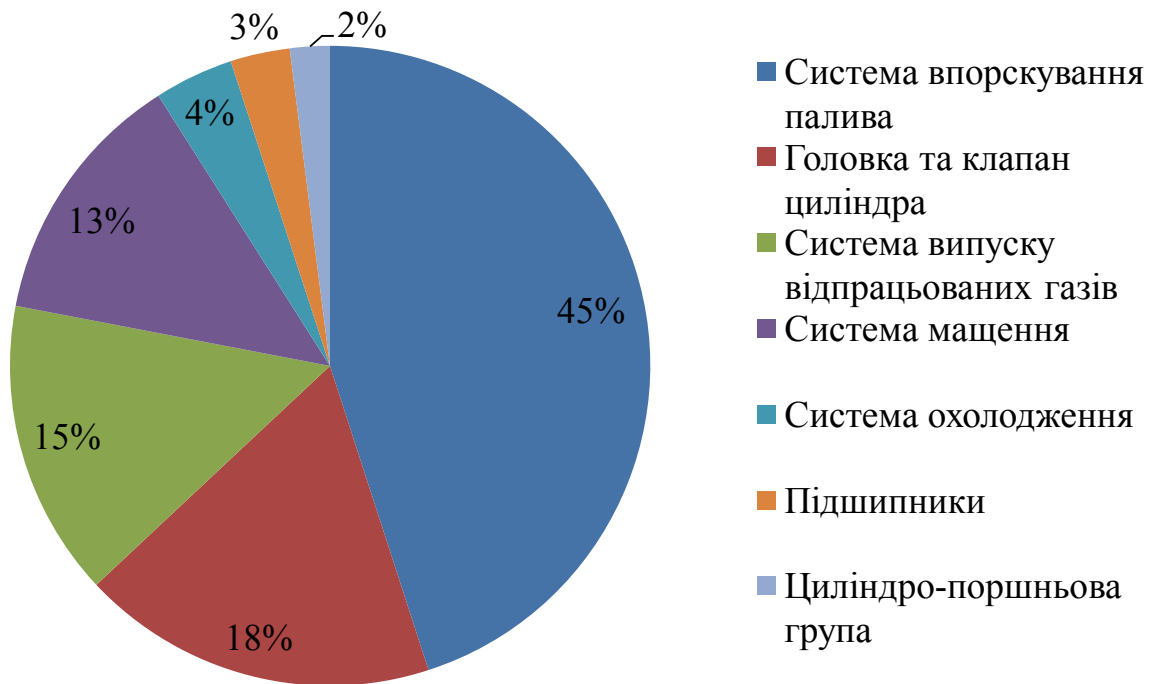


Рис. 1.1. Основні несправності дизельних двигунів

На сьогоднішній день продуктивність двигуна разом з його високою економічністю є дуже важливою характеристикою, а моніторинг стану двигуна використовується для гарантування і оптимізації даної характеристики. Традиційний підхід до обслуговування дизельного двигуна полягав у дотриманні системи планового технічного обслуговування, що базується на інструкції виробника. Цей підхід має два суттєві недоліки:

1. Періодичність технічного обслуговування базується лише на минулому досвіді роботи подібних двигунів;
2. Деталі та складові частини під час заміни часто знаходяться ще в працездатному стані.

Більш прогресивною системою технічного обслуговування є обслуговування по фактичному стану.

Для виявлення несправностей застосовують різні види діагностики та моніторингу стану дизельних двигунів, основні з них приведені з даному розділі.

Моніторинг вібрацій дизельних двигунів є одним з найважливіших методів виявлення несправностей та передбачення несправностей двигуна. Цей

метод, слід віднести до перспективних в питаннях прогнозування технічного обслуговування та для прийняття рішень щодо проведення технічного обслуговування двигуна. Ось чому розуміння принципів методу моніторингу дизельних двигунів за допомогою вивчення вібрацій має величезне значення для технічного обслуговування [10 – 12].

Моніторинг вібрації збирає сигнали вібрації, що генеруються двигуном та аналізуючи їх визначає стан двигуна. Існує чимало причин для широкого застосування цього типу моніторингу і одна з головних причин полягає в тому, що кожен працюючий двигун виробляє вібрації різних типів. Друга причина – вібраційна система двигуна та його теоретична структури добре зрозуміла, що дозволяє передбачити особливості вібрації, виявлені за допомогою спеціальних приладів, таких як широкодіапазонні перетворювачі та зручні аналізатори. Третя причина полягає в тому, що можна уникнути значних витрат, наприклад шляхом вчасного ремонту двигуна. Крім того, удосконалення методів обчислення вібраційних сигналів дозволило значного зменшити кількість недостовірної інформації. Через шуми і навколишнє середовище можуть виникнути труднощі у використанні моніторингу вібрацій. Незважаючи на переваги моніторингу вібрацій для визначення технічного стану двигуна ще не існує універсального моніторингу стану дизельного двигуна [13 – 15].

Існують різні методи обробки та збереження вібраційних сигналів [10 – 15]:

1. Найпростіше, використовуючи значення піку, піку до піку або значення RMS для встановлення механічного стану двигуна.

2. Аналіз спектра, який перетворює вхідний сигнал часової області за допомогою процесів Фур'є. Використовується в основному для аналізу та діагностики тенденцій з певними частотами.

3. Аналіз конвертів або високочастотна резонансна техніка (HFRT) обмежує сигнали тих частот, які необхідно контролювати. Це пригнічує

небажаний фон вібрації та дозволяє аналізувати огинаючі дані біля сигналу, скасовуючи небажані низькі частотні коливання.

4. Аналіз «центром» використовується для виявлення послідовності гармонік (або бічних смуг) у спектрах та для оцінки їх відносної сили. Це робиться за допомогою приймаючого логарифму амплітуди та реконструкції одного або декількох спектрів за допомогою останніх значень. Це має свій ефект для збільшення порівняльної значущості компонента найнижчої частоти.

Аналіз стану оливи набув широкого застосування при визначенні технічного стану дизельних двигунів. В першу чергу це пов'язано з інформативністю даного способу, оскільки склад оливи надає якісну інформацію про стан двигуна. Аналіз оливи особливо корисний коли застосувати діагностику за вібрацією є неможливим. Застосовують різні методи аналізу оливи [16 – 17]:

1. Визначення в'язкості.
2. Метод детектора магнітних чіпів.
3. Ферографія.
4. Спектрографія.

Одним із якісних методів моніторингу стану дизельного двигуна є контроль тиску в циліндрах. У дизельних двигунах тиск в циліндрах можна вважати «пульсом» двигуна. Детальне визначенні тиску та кута кривошипа, при яких виникає піковий тиск, можуть бути частиною потужного діагностичного методу. Тиск у циліндрі є прямим показником ефективності горіння і використовується для оцінки співвідношення повітря та палива, а також оцінити час запалювання у двигунах [18 – 24].

Миттєвий контроль кутової швидкості маховика дизельного двигуна дозволяє об'єктивно оцінити тиск у циліндрах. Ця методика використовується для виявлення несправностей у системі впорскування палива та процесі згорання палива. Вона заснована на тому миттєва кутова швидкість маховика збільшується в міру спрацювання циліндра і зменшується при подальшому

стиснені циліндра. Дана методика вимагає використання чутливих датчиків швидкості [25].

Акустична діагностика базується на аналізі акустичних або шумових сигналів, що виникають в дизельному двигуні під час роботи. Виявлення несправності даним методом дуже залежить від здатності оператора запам'ятати «те що він чув раніше», коли двигун працював правильно [26 – 28].

Якість вихлопних газів дизельного двигуна містить інформацію, що стосується впорскування, згорання палива та системи мащення. За допомогою контролю вихлопних газів можна виявити велику несправностей такі як: несправності форсунки, неправильне запалювання, протікання клапана, погіршення мастила, а також можна зробити загальну оцінку роботи двигуна. Контроль якості вихлопних газів можна досягнути двома способами: хімічним аналізом вихлопних газів та фізичним вимірюванням кольору, температури, шуму тощо.

Діагностика методом вимірювання акустичної емісії застосовується для діагностування трубопроводів, трансформаторів, ракетних двигунів, вітрових турбін, корпусів кораблів та для прогнозування землетрусів. З точки зору фізики акустична емісія визначається як механічні хвиля, які створюються природнім шляхом різкого виділення накопиченої енергії. Сучасні методи вимірювання акустичної емісії базуються на виявленні хвиль від 10кГц до 1МГц. Цей діапазон є відносно високим і дозволяє кращого співвідношення сигнал/шум, ніж із сигналами вібрації або акустичними сигналами [29 – 30].

Акустична емісія – це акустична хвиля, що генерується матеріалом, а сигнал акустичної емісії – це електричний сигнал, що утворюється утворюється датчиком у відповідь на цю хвилю. Сигнали акустичної емісії зі сплесками часто представлені затухаючою синусоїдою.

Існує два види випромінювання акустичної емісії:

1. Дискретне випромінювання: висока амплітуда та високий викинд енергії спричинено митєвим явищем (утворення тріщин, вибух тощо);

2. Безперервне випромінювання: низька амплітуда та низький викид енергії (стабільний процес).

На рис. 1.2. показано замір датчика акустичної емісії в результаті прийняття сигналу від двигна протягом двох обертів колінчастого валу.

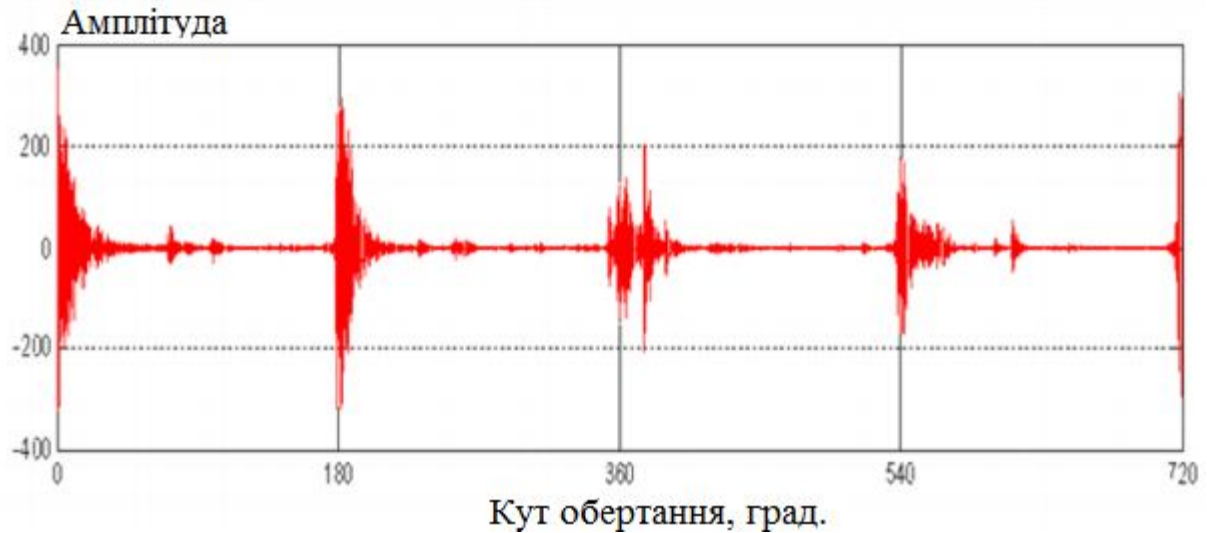


Рис. 1.2. Показники датчика заміру акустичної емісії, що представляють сигнал акустичної емісії для двох обертів колінчастого валу дизельного двигуна

Акустична емісія може генеруватися вшироким спектром можливих імпульсних джерел, які є в дизельних двигунах (процес горіння, рух пошня, стукіт клапана, потік газу та багато інших механічних явищ). Акустичний шум і відбрація, від даних процесів і явищ, призводить до утворення хвиль низької частоти і шуми з навколишнього середовища можуть їх спотворювати. Саме тому даний метод діагностики не набув широкого розповсюдження [29 – 30].

До переваг діагностування стану дизельних двигунів шляхом вимірбювання акустичної емісії слід віднести:

1. Висока чутливість.
2. Діагностування можливо проводити в реального часу.
3. Раннє та швидке виявлення дефектів.
4. Нечутливий до структурних резонансів.

До недоліків діагностування стану дизельних двигунів шляхом вимірбювання акустичної емісії слід віднести:

1. Забезпеченість вузькоспеціалізованими датчиками;

2. Слабкий сигнал (в порівнянні з вібрацією);
3. Швидке послаблення сигналу під час поширення вимагає, щоб датчик заміру акустичної емісії знаходився дуже близько до джерела сигналу.

Висновки по розділу 1.

Перехід до стратегії інтелектуального технічного обслуговування створив вимогу до необхідності більшого розкриття діагностичної інформації, яка доступна сьогодні. З аналізу літературних джерел можна зробити висновок, що діагностування двигунів за допомогою аналізу сигналів акустичної емісії є найперспективнішим методом діагностики.

РОЗДІЛ 2

РОЗРОБКА СИСТЕМИ ДІАГНОСТУВАННЯ НЕСПРАВНОСТЕЙ ДИЗЕЛЬНИХ ДВИГУНІВ ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Для джерела акустичної емісії використовувався розроблений стенд на основі дизельного двигуна JCB 444T2 (об'єм 4,4 літра, чотирьохтактний, 16-ти клапанний, рядний –рис. 2.1 та табл. 2.1.)

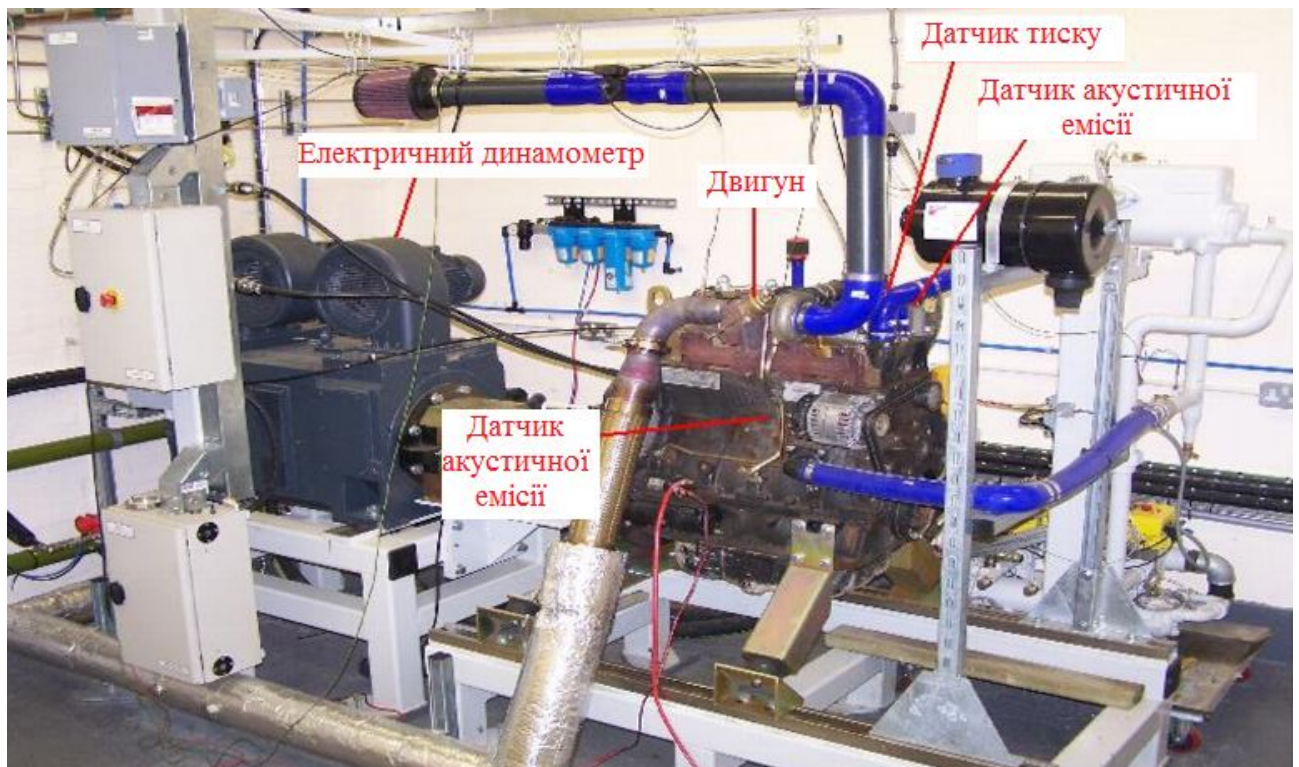


Рис. 2.1. Випробувальна установка на основі дизельного двигуна JCB 444T2

Даний дизельний двигун був вибраний не випадково, оскільки він відзначається високою надійністю і використовується як джерело живлення для різних машин, які використовуються в сільському господарстві (навантажувачі, ґрунтоукладачі, екскаватори, трактори та ін).

Дизельний двигун був з'єднаний з електричним динамометром, який створював гальмівні зусилля і був розрахований на роботу з двигунами максимальної потужності 210 кВт і максимальний крутний момент 501 Нм.

Пульт керування установкою знаходився за межами приміщення. З пульта керування запускали/вимикали двигун, регулювали швидкість двигуна, подачу палива, а також для контролювали температуру двигуна.

Таблиця 4.1

Технічна характеристика двигуна для випробування

Тип двигуна	Дизельний двигун з турбонаддувом
Кількість циліндрів	4
Діаметр циліндра	103 мм
Діаметр впускного клапана	36,5 мм
Діаметр випускного клапана	33,2 мм
Діаметр входу компресора	60 мм
Діаметр вихода компресора	60 мм
Діаметр входу турбіни	100 мм
Діаметр вихода турбіни	80 мм
Ступінь стиску	18,3:1
Кількість клапанів	16
Система впорскування	Пряме
Система охолодження	Рідинна
Максимальна потужність	74,2 кВт
Послідовність впорскування	1-3-4-2

Виходи за датчиків насилають отриману інформацію на персональний компютер. Шум від вихлопних газів був суттєво зменшений встановлення подвійного глушника.

Сигнал акустичної емісії надсилається в систему збору даних і зберігається на ПК. На рис. 2.2. показано запропоновану схему випробувального обладнання та контрольно-вимірювальних приладів. Крім датчиків акустичної емісії на двигуні також були встановлені п'ять різних датчиків, які вимірювали: тиск горіння в циліндрі; швидкість, верхнє

положення мертвої точки, температура охолоджуючої рідини двигуна, навантаження. Ці сигнали були зібрані за допомогою наступних типів датчиків:

1. Оптичний кодер.
2. Магнітний датчик.
3. Датчик Хола.
4. Термостат.
5. Перетворювач тиску.

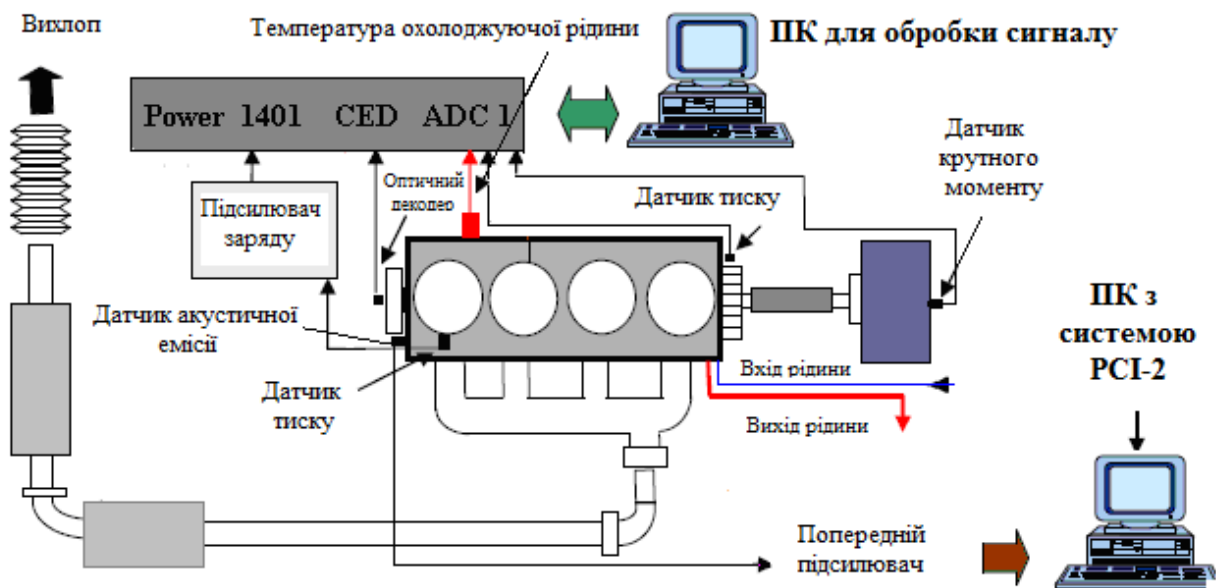


Рис. 2.2 Схема запропонованої діагностичної системи

Перед подачею сигналів датчика тиску та аналого-цифрових перетворювачів вони проходили через підсилювач заряду. Підсилювач заряду компенсує зменшення чутливості датчика через використання довгих кабелів, фільтрує небажані складові та посилює сигнал. Сигнал тиску в циліндрі, що використовується для контролю умов горіння, отримувався від п'єзоелектричного датчика тиску типу 6125A.

Необхідна контрольна точка для порівняння даних, зібраних з випробувальної установки та для середнього вимірювання сигналів за часом, була отримана за допомогою оптичного кодера HED-7000, який був закріплений на колінчастому валу перед двигуном (рис. 2.3).



Рис. 2.3. Фото встановленого оптичного декодера на дизельний двигун
Встановлений оптичний кодер дозволяє почати збір даних з абсолютно однаковим положенням кута кривошипа у кожному циклі.

Частота обертання двигуна та кількість обертів колінчастого валу відіграють велику роль в аналізі циклу процесу та у визначенні стану двигуна, тому важливо виміряти цей параметр якомога точніше. Для цього вимірювального завдання підходять магнітні датчики. Цей тип датчика складається з постійного магніту, хому та котушки. Магнітний елемент встановлений у безпосередній близькості від зубців шестерні маховика двигуна, оскільки відстань між зубцями шестерні та котушкою датчика є критичною величиною. Внутрішня котушка датчика створює електричний імпульс щоразу, коли зуб маховика проходить його наконечник. Оскільки на маховику є 126 зубів, кожен 126 імпульсів означатимуть один повний оберт колінчастого валу, а кількість виявлених зубів за секунду пропорційна швидкості обертання двигуна.

Датчик був закріплений на двигуні за допомогою невеликого кронштейна так, щоб його кінчик знаходився на відстані приблизно 2 мм від маховика.

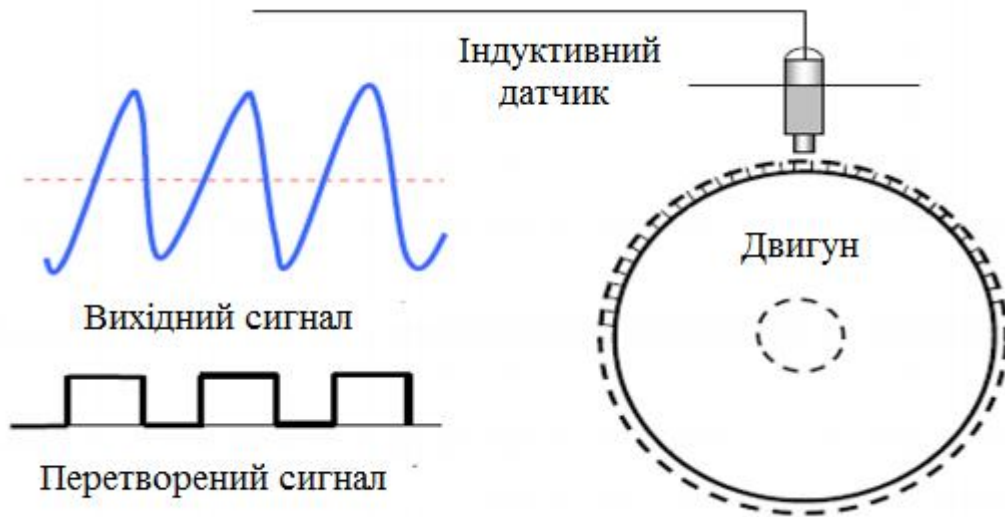


Рис. 2.4 Принцип дії датчика для визначення частоти обертання колінчастого валу.

Тиск горіння в циліндрі вимірювали за допомогою п'єзоелектричного датчика тиску Kistler 6125A. Датчик був закріплений у камері згоряння циліндра №1. Датчик виготовлений з полістабільних кварцових елементів та ізолюваний від землі, щоб уникнути електричних перешкод через заземлення та не вимагає додаткового охолодження. Він також був спеціально розроблений для роботи при високих температурах та для точного вимірювання в двигунах внутрішнього згоряння.

Датчик крутного моменту, який використовувався в процесі дослідження представлено на рис. 2.5. Датчик працював за принципом перетворення сили в електричний сигнал.



Рис. 2.5. Фото встановленого датчика крутного моменту.

Програмне забезпечення для збору базується на операційній системі Windows і має можливість виконувати онлайн-вибірку даних, реєструвати та контролювати параметри двигуна під час роботи, такі як швидкість, навантаження та температура. Всі сигнали акустичної емісії оброблялися за допомогою прикладного пакету MATLAB. На рис. 2.6 показано хід збору даних акустичної емісії. Вимірні дані аналізуються в автономному режимі за допомогою пакету MATLAB.

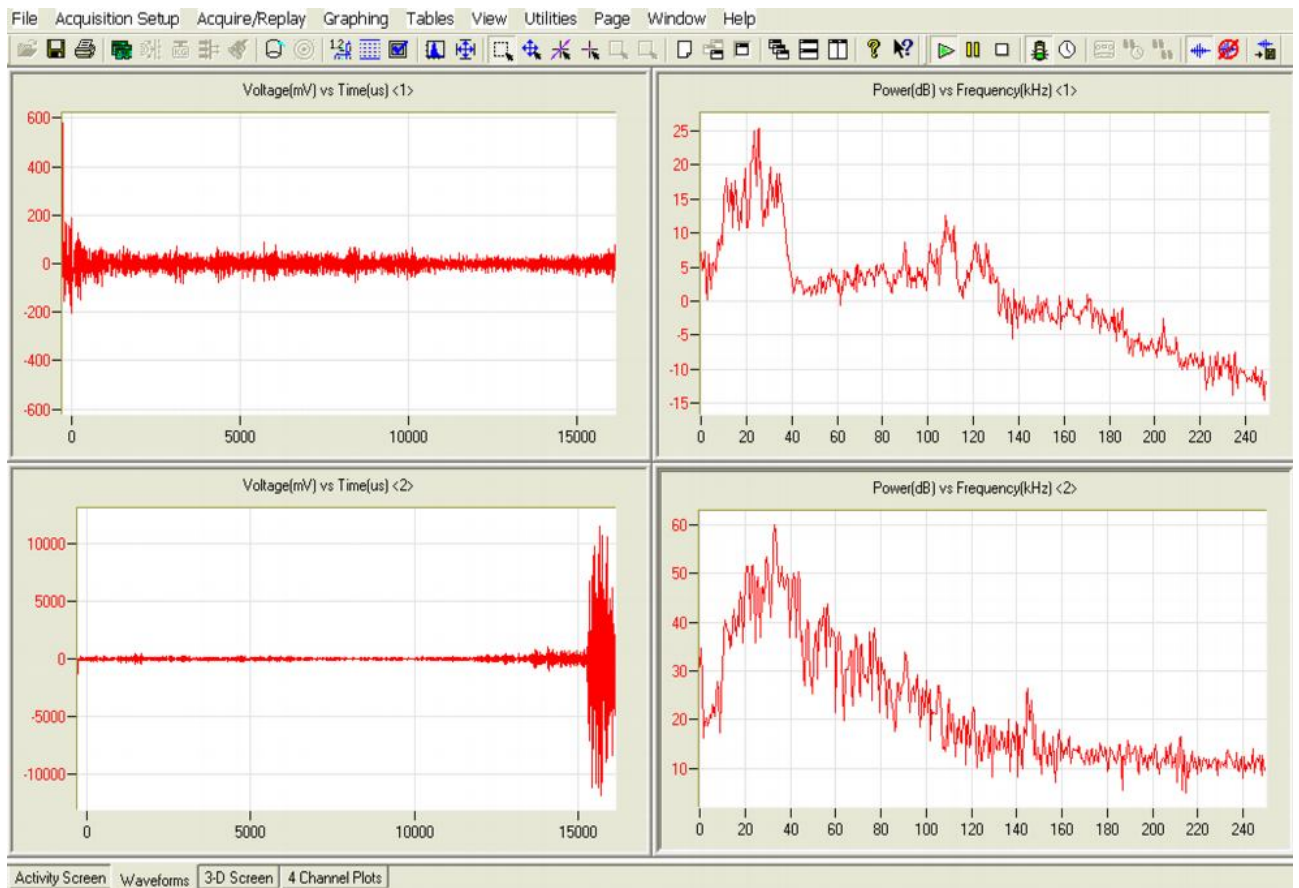


Рис. 2.6. Збір даних сигналів акустичної емісії дизельного двигуна.

Звичайний спектральний аналіз із використанням статистичних параметрів та перетворень Фур'є для вивчення періодичних, стаціонарних та детермінованих сигналів не може врахувати часові зміни спектральних характеристик нестационарного сигналу.

Перетворення Фур'є не враховує інформацію про час, воно просто ідентифікує всі частоти, що містяться в сигналі, але не надає інформації про час, коли ці спектральні компоненти присутні, а коли їх немає. Перетворення

Фур'є не є придатною методикою для нестационарних сигналів, а перехідні сигнали, які є важливими для дизельних двигунів, за своєю природою зазвичай є дуже нестационарними

Для точного представлення інформації про частоту, що міститься в нестационарних сигналах, потрібно використовувати техніку, яка представляє як інформацію про час так і частоту, створюючи спектр сигналу в частотно-часовій області.

Частотно-кутовий аналіз – це метод обробки сигналів, що дозволяє одночасно бачити інформацію про час і частоту. Він відображає комбіновані результати аналізу часу та частоти у тривимірному режимі, який відображає амплітуди щодо осі часу та частоти, як показано на рис. 2.7.

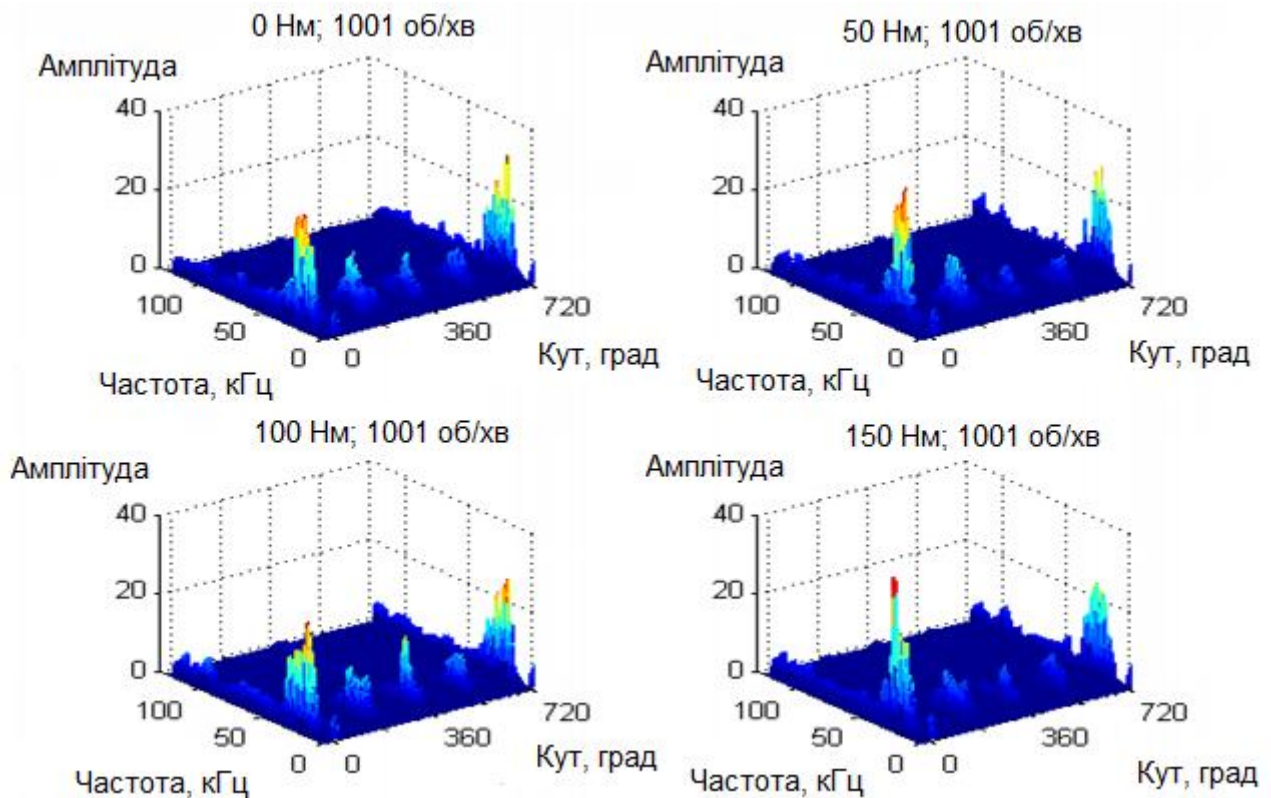


Рис. 2.7. Часово-частотна область вихідного сигналу акустичної емісії від дизельного двигуна що працює при 1000 об/хв. з чотирма різними навантаженнями.

Використання цієї методики для аналізу сигналів акустичної емісії, що генеруються дизельним двигуном, дозволяє нам пов'язати кожну подію, що

спостерігається в площині часової частоти з одним джерелом збудження. Тоді можна виміряти енергію кожної події та кількісно визначити частину, яка припадає на кожен механізм збудження в сигналах акустичної емісії.

РОЗДІЛ 3

АНАЛІЗ ДАНИХ РОЗРОБЛЕНОЇ СИСТЕМИ ДІАГНОСТУВАННЯ НЕСПРАВНОСТЕЙ ДИЗЕЛЬНИХ ДВИГУНІВ НА ОСНОВІ СИГНАЛІВ АКУСТИЧНОЇ ЕМІСІЇ

Запропонований метод діагностики базується на упорядкуванні та опису наукових даних та виведення загальних властивостей із конкретних наборів спостережень. Ідея діагностування двигуна таким чином полягає у дослідженні можливості використання вимірювання акустичної емісії та простих статичних методів моніторингу стану в режимі он-лайн. Розрахунок середньоквадратичних значень та дисперсії сигналу акустичної емісії може дати швидкий показник стану відносно швидким способом а інформацію про стан двигуна може оцінити оператор без необхідності спеціального навчання.

Дана система допоможе уникнути високих витрат на технічне обслуговування завдяки посиленому моніторингу в режимі он-лайн та кращому виявленню несподіваних несправностей.

Середньоквадратичні значення та дисперсія сигналів акустичного випромінювання використовуються для виявлення серйозних несправностей. Двигун випробовували за чотирьох режимів, причому один з них не мав несправності та були введені три різні несправності, які зазвичай зустрічаються у форсунках. Випадок 1 не був викритий. У випадку 2 тиск впорскування 1 зменшився на 3,5 МПа (13%) до 23,5 МПа. У випадку 3 тиск впорскування збільшився на 5,5 бар (20%) до 32,5 бар. У випадку 4 паливна форсунка була відключена від паливної магістралі (повна осічка). Двигун випробовували з кожною несправністю за чотирьох умов: без навантаження, 50 Нм, 100 Нм і навантаженням 150 Нм, кожна зі швидкостями 1000 об/хв, 1100 об/хв, 1200 об/хв і 2000 об/хв.

Середньоквадратичні значення та дисперсії вимірних сигналів акустичної емісії були розраховані та усереднені для кожної з умов випробування(рис. 3.1 та рис. 3.2).

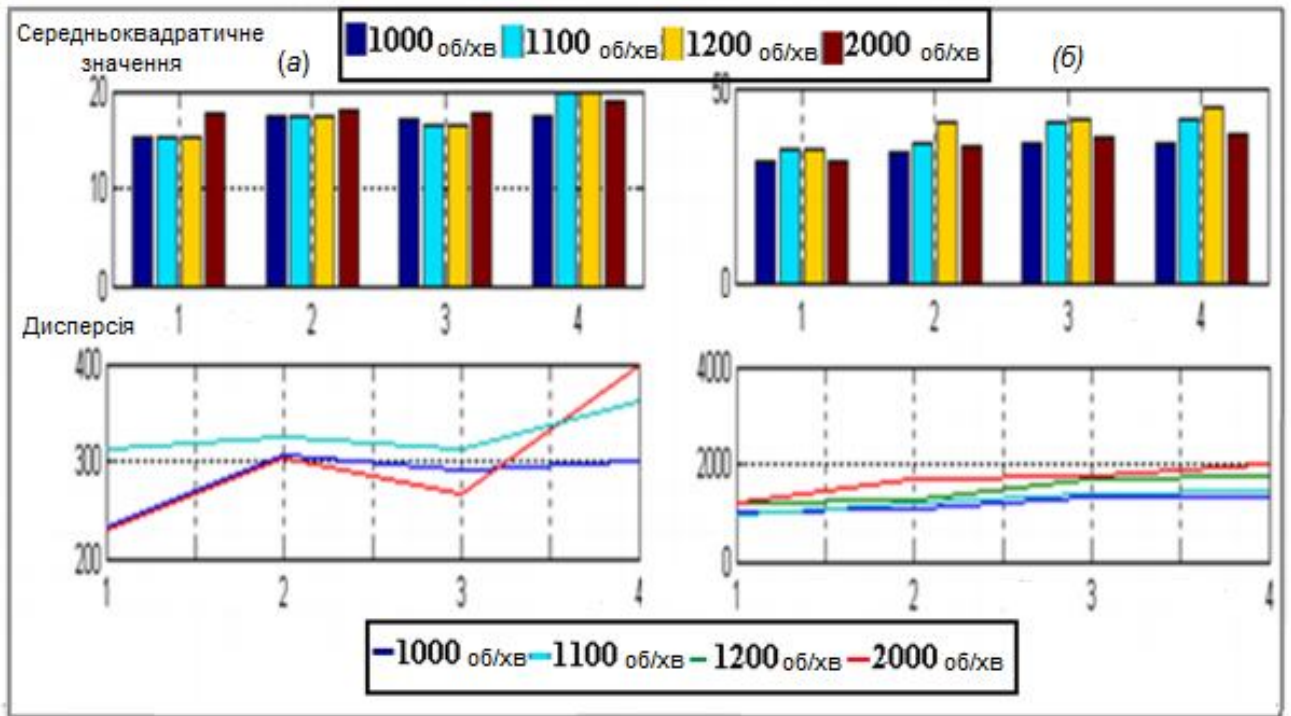


Рис. 3.1. Середньоквадратичне значення та дисперсія сигналу акустичної емісії: (а) – без навантаження; (б) – навантаження 50 Нм.

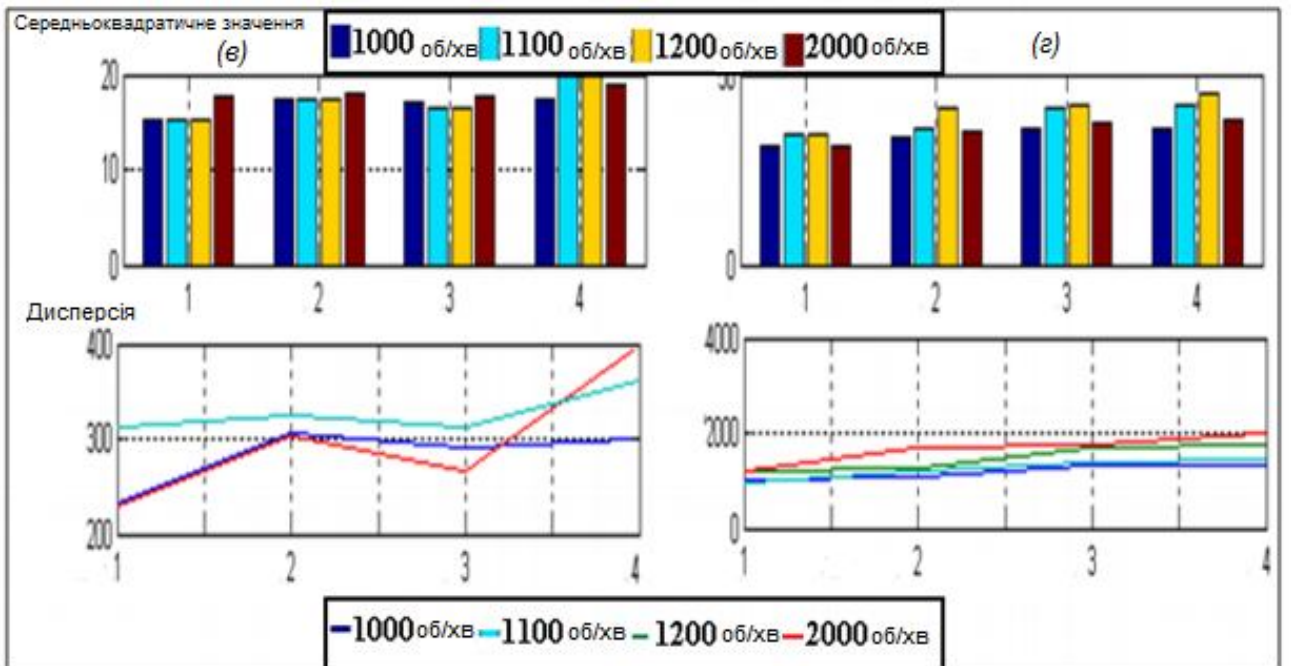


Рис. 3.2. Середньоквадратичне значення та дисперсія сигналу акустичної емісії: (e) – навантаження 100 Нм; (z) – навантаження 150 Нм.

Середньоквадратичні значення зросли від випадку 2 до випадку 4 і це стосується двох швидкостей та обох навантажень. Це збільшення відповідає зростанню серйозності несправності і може бути пояснено тим, що в кожному випадку збільшується кількість несправностей (механічні впливи, тертя потоку тощо), а отже і рівень акустичної емісії збільшується. Виходячи з вище сказаного можна зробити висновок, що дисперсія середньоквадратичного сигналу акустичної емісії може бути використана як показник якості горіння.

Аналіз відхилень сигналів акустичної емісії дозволяють виявити несправності паливної форсунки. У циліндрі №2 тиск у паливній форсунці змінювався від нормального (27 МПа) спочатку до 23,5 МПа, далі до 32,5 МПа, а потім взагалі відключали. Миттєвий тиск у циліндрі показано на рис. 3.3.

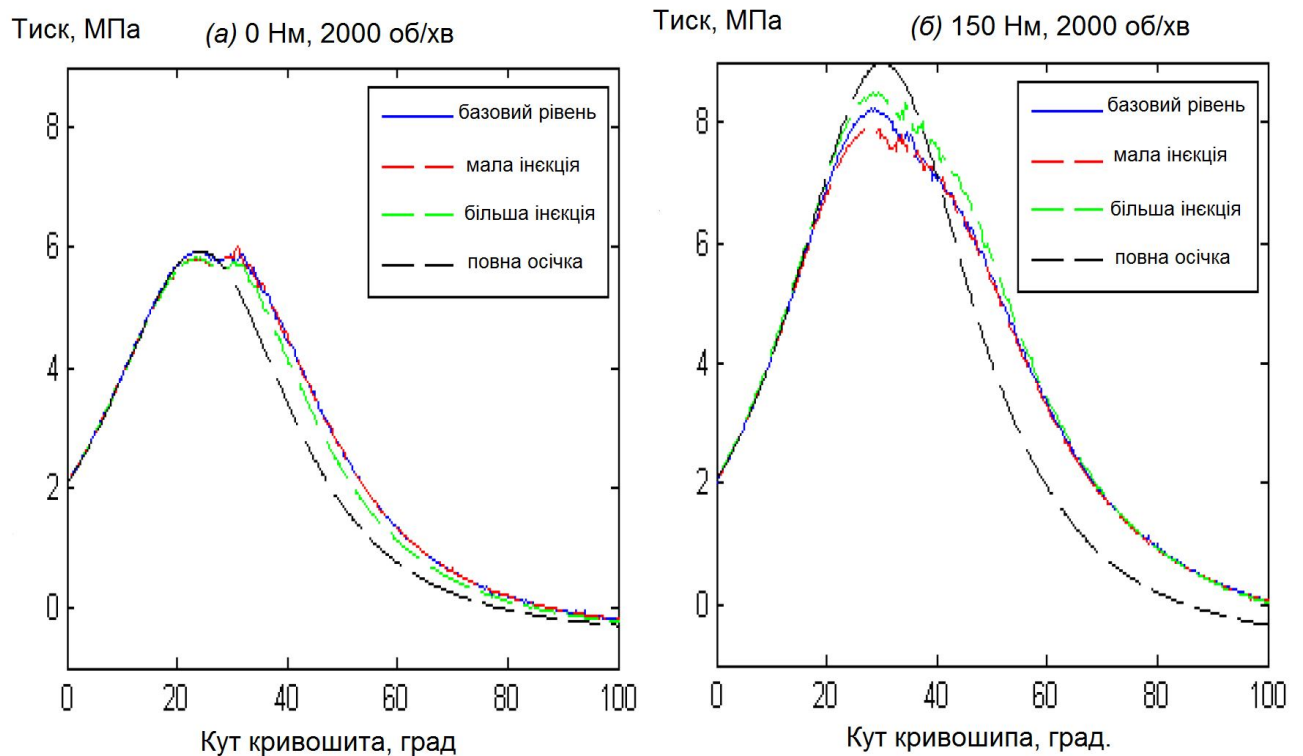


Рис. 3.3. Тиск у циліндрі 1 дизельного двигуна при 2000 об/хв: (а) – без навантаження; (б) – при навантаженні 150Нм.

Існують чіткі відмінності між піковими тисками для всіх чотирьох випадків (особливо при збільшенні навантаження). Як і очікувалося введення штучних несправностей збільшує піковий тиск, оскільки піковий тиск залежить від швидкості горіння на початкових стадіях.

На рис. 3.4. представлено запропонований метод виявлення несправностей шляхом побудови графіку ексцентричності сигналів акустичної емісії від дизельного двигуна. Спектри сигналів акустичної емісії у низькочастотній полосі показують чітку різницю між сигналами акустичної емісії для «здорового» та несправного двигуна. На високих частотах важче виявити чітку різницю порівняно з низькими частотами.

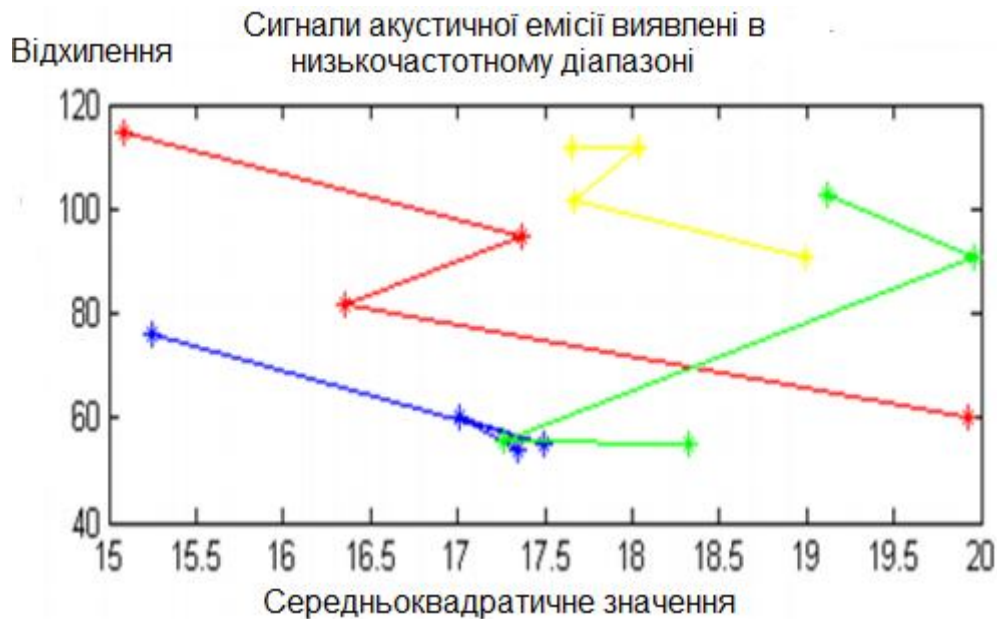


Рис. 3.4. Значення ексцентричності сигналів по відношенню середньоквадратичного відхилення для спектру акустичної емісії нижче 20 кГц: синій – 270 бар, червоний – 235 бар, зелений – 325 бар; жовтий – повна осічка

Аналіз сигналів акустичної емісії при чотирьох заданих умовах (частота обертання колінчастого вала коливалась в межах від 940 до 1010 об/хв) представлено на рис. 3.5.

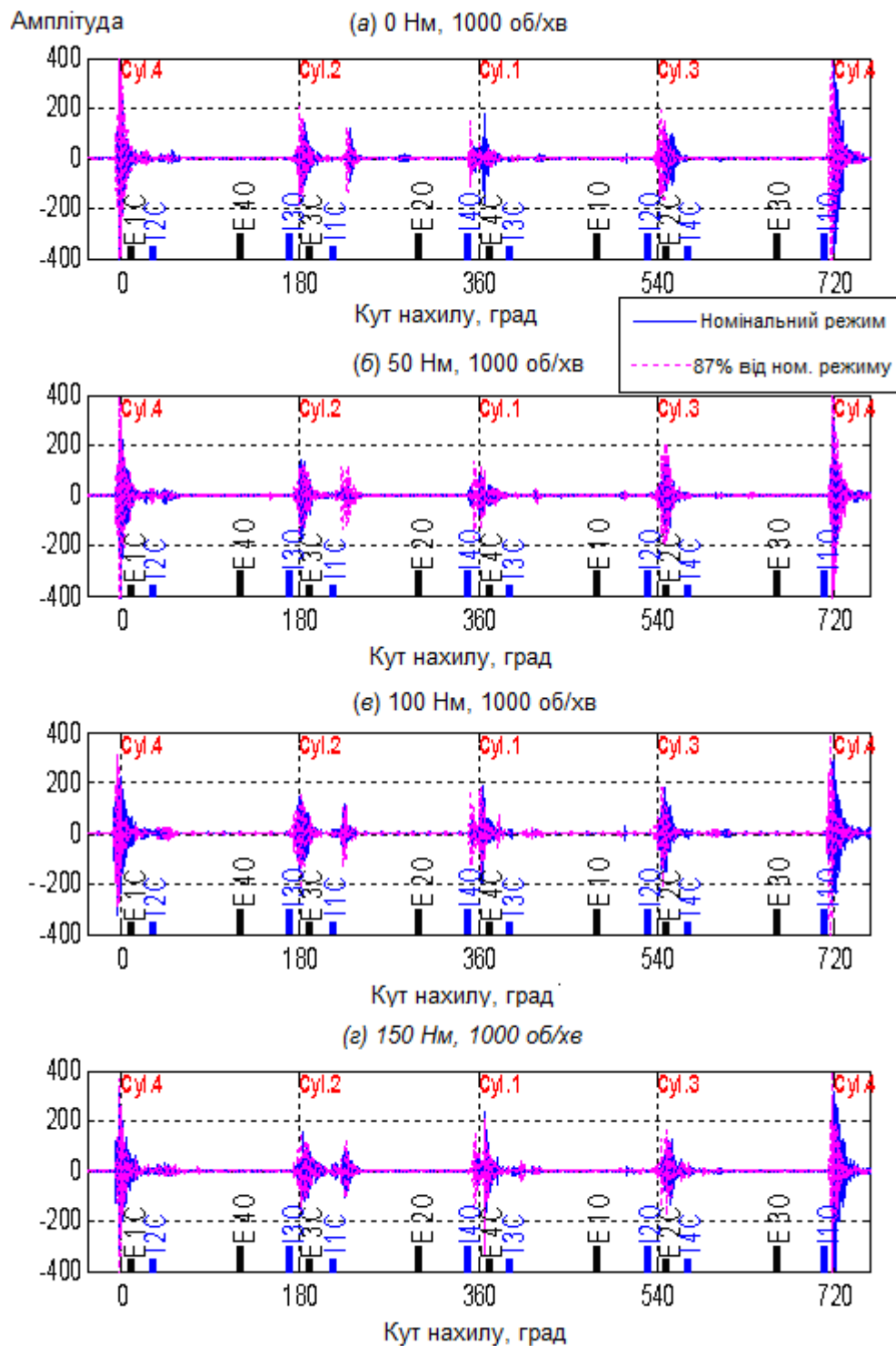


Рис. 3.5 Сигнали акустичної емісії при номінальній роботі і при 87% тиску впорскування від номінального

Як можна спостерігати з отриманих результатів розроблена система нівелює недоліки існуючих систем діагностики дизельних двигунів

ВИСНОВКИ

Перехід до стратегії інтелектуального технічного обслуговування сільськогосподарських машин створив вимогу до необхідності створення сучасних діагностичних систем, які дозволять об'єктивно визначати несправності під час експлуатації машини в режимі реального часу.

В роботі розроблений сучасний метод діагностики технічного стану дизельних двигунів сільськогосподарських машин на основі сигналів акустичної емісії.

Запропонований метод діагностики базується на упорядкуванні та опису наукових даних та виведення загальних властивостей із конкретних наборів спостережень. Ідея діагностування двигуна таким чином полягає у дослідженні можливості використання вимірювання акустичної емісії та простих статичних методів моніторингу стану в режимі он-лайн. Розрахунок середньоквадратичних значень та дисперсії сигналу акустичної емісії дає швидкий показник стану відносно швидким способом, а інформацію про стан двигуна може оцінити оператор без необхідності спеціального навчання.

Впровадження даної системи в умовах сільськогосподарських підприємств дозволить уникнути високих витрат на технічне обслуговування завдяки посиленому моніторингу в режимі он-лайн та кращому виявленню несподіваних несправностей.

Для впровадження запропонованого методу необхідно визначити значення показників акустичної емісії для справних дизельних двигунів і порівнювати отримані значення з показниками під час експлуатації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Полянский С. К., Жерновий А. С. Лесько В. І., Тінченко С. Х. Діагностика і технічне обслуговування будівельних машин. Київ : Либідь, 1995. 312с.
2. Ремонт автомобілів: Навчальний посібник/ пвд. ред. В.Я. Чабанний. Кіровоград : Кіровоградська районна друкарня, 2007. 720 с
3. Гюнтер Г. Диагностика дизельных двигателей Москва : За Рулем, 2004. 176 с.
4. Hatch Steve V. Computerized Engine Controls Delmar, Cengage Learning, 2011. 720 p.
5. Павлов Б. В. Акустическая диагностика механизмов. Москва : Машиностроение, 1971. 224 с.
6. Мигаль В. Д. Техническая диагностика автомобильных двигателей. Том 1. Объекты и методы диагностирования. Харьков : Майдан, 2014. 458 с.
7. Никитин Е.А. и др. Диагностирование дизелів. Никитин Е.А. и др. Диагностирование дизелей
8. Stone R. Introduction to Internal Combustion Engines. Macmillian, 3th edition Pennsylvania. 1999. 574 p.
9. Оксень Д. Е., Оксень Е. И. Исследование процесса формирования виброакустического поля в механизмах двигателя внутреннего сгорания. *Двигатели внутреннего сгорания*. 2013.№ 1.С. 116.
10. Оксень, Е. И., Оксень, Е. И. Метод вибрационной диагностики системы зажигания двигателей внутреннего сгорания. *Двигатели внутреннего сгорания*. 2006. № 1. С. 136-140.
11. Ежов С. П., Назаров Н. И. Диагностика двигателей внутреннего сгоран : учебное пособие. Москва : МАДИ, 1987. 40 с.

12. Бурау Н. И. О новых направлениях в развитии виброакустических методов диагностики прочностных дефектов в лопатках газотурбинных двигателей. Вибр. в техн. и технол. 2001. №4 (20). С. 45–48.
13. Бурау Н. И. Повышение чувствительности дискриминантных признаков трещины в задачах виброакустической диагностики элементов роторных систем. Акуст. Вісн. 2003. Т. 6, №3. С. 10–17
14. Вовк Л. П. Теоретические и экспериментальные методы определения механических характеристик неоднородных деталей машиностроения. Донецк: «Вебер» (Донецкое отделение), 2007. 214 с.
15. Мигаль В. Д. Техническая диагностика автомобилей: справ. пособие в 6 т. Т. 6. Диагностическое обеспечение технической и экологической безопасности. Харьков : Майдан, 2012. 538 с.
16. Гребенников А. С. Диагностирование автотракторных двигателей динамическими методами. Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2002. 196 с.
17. Туревский Н. С. Техническое обслуживание автомобилей: Книга 1. Техника обслуживания и текущий ремонт автомобилей : учеб. пособие. Москва : ИД «ФОРУМ»-ИНФРА-М, 2007. 432 с.
18. Клятис Л. М. Новый подход к стендовым вибрационным испытаниям автомобильно-транспортных средств. *Автомобильная промышленность*. № 8. 1993. С. 23-25.
19. Мигаль В. Д. Вибрационные методы и средства распознавания дефектов машин. Харьков : ХГПУ, 1996. 236 с.
20. Мигаль В. Д. Вибрация машин и ее диагностические признаки. Харьков : ХГПУ, 1996. 236 с.
21. Мигаль В. Д. Вибродиагностика машин при эксплуатации. В. Д. Мигаль. Харьков : ХГПУ, 1997. 293 с.
22. Мигаль В. Д. Вибродиагностика при проектировании и изготовлении машин. В. Д. Мигаль. Харьков : ХГПУ, 1996. 244 с.

23. Мигаль В. Д. Вибрация и надежность транспортных машин. Харьков : Изд-во ХНАДУ, 2007. 383 с.
24. Мигаль В. Д. Вибрационные принципы доводки машин до заданного ресурса. *Вісник Східноукраїнського нац. ун-ту ім. В. Даля*. № 7 (77), част. 1. Луганськ, Вид-во СНУ ім. В. Даля, 2004. 186-192.
25. Мигаль В. Д. Техническая диагностика автомобилей [Текст]: справ. пособие в 6 т. Т. 3. Методы диагностирования. Х.: Майдан, 2012. 548 с.
26. Литвиненко В. В. Автомобильные датчики, реле и переключатели Москва : ЗАО КЖИ «За рулем», 2004. 176 с.
27. Пойда А. М. Технічна експлуатація автомобілів з мікропроцесорними системами керування: лабор. практикум. Харьков : ХНАДУ. 2012. 172 с.
28. Борисовский Р. Диагностика бортовых электронных систем *Автомобили и сервис*. 2006. № 3. С. 32-36.
29. Головобородько О. О. Мехатронні системи автомобільного транспорту : навч. посібник. Харьков : ТОВ «Компанія СМІТ», 2006. 300 с.
30. Загальні принципи діагностування електронних систем керування автомобіля : навч. посібник. / за ред. М. Б. Копитчука. Одеса : Наука і техніка, 2012. 392 с.