

М. І., Олійник¹, Н. В. Шевченко²¹ НЛТУ України, м. Львів, ORCID: 0000-0003-3623-002X² НЛТУ України, м. Львів, ORCID: 0000-0002-4004-891X

ВИКОРИСТАННЯ МОТОРТЕСТЕРА ПІД ЧАС ВІБРОАКУСТИЧНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ

Анотація. Представлено результати дослідження технічного стану двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ) автомобілів, умови експлуатації яких характеризуються високими динамічними та ударними навантаженнями. Запропоновано використання сучасних методів віброакустичного діагностування для швидкої та ефективної оцінки технічного стану основних вузлів ДВЗ без необхідності демонтажу чи розбирання. Описані підходи передбачають застосування спеціальної методики діагностування та відповідного апаратного забезпечення, зокрема мотортестера МТPro4, для детального аналізу механічної складової роботи двигуна на підставі параметрів вібрації та звукових сигналів. Проведено аналіз спектрального складу вібраційних сигналів та досліджено кореляцію між параметрами вібрації та можливими дефектами двигуна.

Ключові слова: мотортестер, двигун внутрішнього згоряння, автомобіль, віброакустична діагностика, амплітудно-частотна характеристика.

Актуальність використання справних автомобілів для вивезення деревини зумовлена специфікою роботи в складних дорожніх умовах, необхідністю мінімізації логістичних витрат, необхідністю підвищення економічної ефективності лісозаготівельних робіт, забезпечення безпеки праці та дотриманням екологічних стандартів [1,2]. Справний технічний стан, зокрема двигуна, напряму впливає на продуктивність транспортування, особливо в складних дорожніх умовах. Справний двигун працює оптимально, знижуючи споживання палива, яке складає значну частину собівартості транспортування деревини. Технічно справні машини забезпечують безперервність виробничого процесу, зменшуючи час очікування на завантаження та транспортування.

Лісові автомобілі повинні забезпечувати високу ефективність роботи як у складних умовах лісових доріг, так і під час пересування автомагістралями. Надійне функціонування двигуна і трансмісії гарантує достатню тягову силу для подолання нерівностей та крутих підйомів. Водночас, важливе значення має регулярне технічне обслуговування, яке допомагає не лише уникати поломок, але й запобігати небажаним витокам пально-мастильних матеріалів, які можуть завдавати шкоди довкіллю й потрапляти у ґрунт [3].

Актуальність використання технічно справних автомобілів для вивезення деревини зумовлена специфікою роботи в складних дорожніх умовах, необхідністю мінімізації логістичних витрат та дотриманням екологічних стандартів. Справність двигуна є критичним фактором, оскільки він безпосередньо впливає на тягово-швидкісні характеристики, паливну економічність та безпеку під час транспортування великогазових вантажів [4].

Діагностика силових механічних агрегатів (двигунів, редукторів, трансмісій, перетворювачів руху і т.п.) до теперішнього часу не забезпечена досить розвиненим набором інструментальних засобів [5]. На практиці основним способом діагностування залишається поелементний контроль деталей і вузлів агрегату, що розбирається після деякого нормативного напрацювання, і це, як правило, пов'язано з великими затратами і ризиком порушити взаємне припрацювання ланок. Крім того, може виявитися, що розбирання виконане передчасно або відмова трапилася раніше нормативного напрацювання. Всі ці

обставини ініціюють розробку інструментальних засобів поточного експрес-контролю якісного стану силових механізмів.

Найбільш прогресивним та широко впровадженим напрямом у розвитку сучасних технологій технічної діагностики можна вважати віброакустичний метод [6]. Цей підхід на сьогоднішній день характеризується високим рівнем ефективності та універсальності, що робить його одним із головних інструментів у виявленні технічних несправностей. Завдяки використанню вібраційного і акустичного аналізу, цей метод дозволяє точно й оперативно діагностувати стан обладнання, виявляючи навіть найменші відхилення від норми, що сприяє запобіганню серйозним поломкам та підвищенню загальної надійності систем.

Віброакустичне діагностування є одним із найсучасніших і ефективних методів, оскільки дозволяє визначити стан двигуна без необхідності його розбирання. Основою цього підходу є аналіз пружних коливань (вібрацій) та звукових хвиль, які виникають під час роботи механізмів. Кожна рухома деталь, наприклад поршень, клапан або підшипник, створює унікальну віброакустичну характеристику. У разі виникнення несправностей, таких як збільшення зазору, утворення тріщин чи зношення, ці характеристики змінюються. Таким чином, встановивши з деякою достатньою достовірністю зв'язок між зміною технічного стану того чи іншого механізму і його віброакустичних характеристик, можна здійснювати його діагностику і попереджати аварійний стан [6-8].

Для лісових машин, що працюють у складних умовах, методика віброакустичного діагностування дозволяє перейти до обслуговування на основі фактичного технічного стану замість планово-профілактичного підходу. Це сприяє економії ресурсів та дає змогу уникнути аварійних поломок двигуна під час роботи.

Забезпечення достовірності - головна проблема, що обмежує широке застосування цього методу діагностування. Ознаки достовірності можна сформулювати в узагальненій формі, оскільки рівень невизначеності вібровідклику на несправність досить висока. В загальному випадку, але в прийнятних межах, як відомо з досвіду, невизначеність може бути знижена до прийнятного рівня.

Нами прийнята концепція індивідуальної віброакустичної паспортизації механізмів, суть якої в наступному: для справного механізму за певною схемою фіксуються його віброакустичні характеристики, з якими згодом зіставляються поточні характеристики, що фіксуються за такою ж схемою.

Метою досліджень є підвищення достовірності та ефективності інструментальної експрес-діагностики технічного стану ДВЗ на основі віброакустичної паспортизації. Для досягнення мети розроблено методику експрес-діагностики конкретних механізмів та систем ДВЗ за віброакустичними характеристиками.

Розроблена методика вібраційної експрес-діагностики механізмів дозволяє використовувати програмно-апаратне забезпечення МТРpro-4, вітчизняного виробництва. Діагностичний комплекс МТРpro4 (рис.1) дозволяє ефективно виявляти несправність в наступних системах: запалювання, газорозподілу, живлення (паливо, повітря), електроживлення і зарядки.



Рисунок 1 - Діагностичний комплекс МТРpro-4

Віброакустична діагностика, як напрям технічної діагностики, існувала ще задовго до появи приладів, що вимірюють вібрацію і шуми. Багато років основний акцент робився на вимір і аналіз низькочастотної вібрації, для чого достатньо було мати найпростіші вимірювальні прилади. Навіть під час діагностики машин "на слух", за допомогою стетоскопа, фактично аналізувалася низькочастотна і середньочастотна вібрація.

У ДВЗ функціонує велика кількість механізмів, які під час роботи створюють різноманітні шуми та стуки (рис. 2). Ці звуки мають різну частоту, а також можуть виникати періодично на різних етапах обертання колінчастого валу. Завдяки наявності так званої "карти стуків двигуна" можна точно визначити, чи є в цій конкретній точці стук нормальним явищем, чи це сигнал про можливу несправність. Це значно спрощує діагностику і дозволяє оперативно оцінити стан компонентів двигуна.

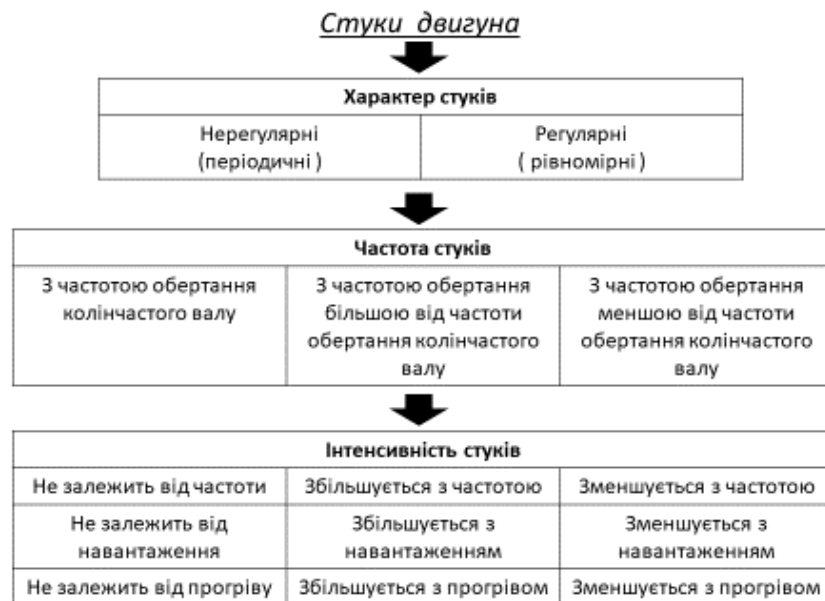


Рисунок 2 - Класифікація стуків двигуна за діагностичними ознаками

Для діагностики стуків і шумів в двигуні використовують як механічні, так і електронні стетоскопи. Для віброакустичного діагностування мотортестером вітчизняного виробництва МТPro4 використано спеціально розроблений на кафедрі лісових машин і автомобільного транспорту НЛТУ України віброакустичний давач (електронний стетоскоп), будову якого наведено на рисунку 3.

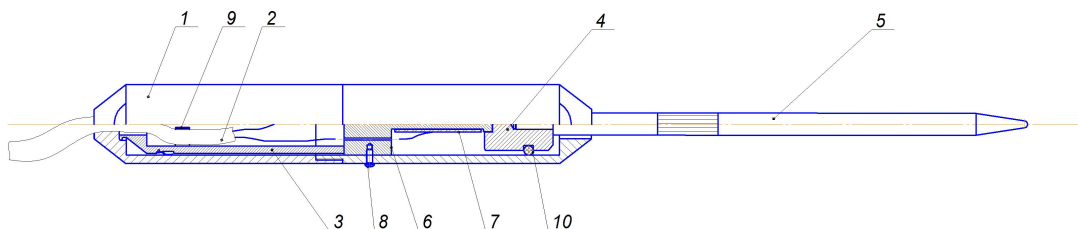


Рисунок 3 – Загальний вигляд розробленого віброакустичного давача для діагностування несправностей ДВЗ: 1–корпус давача; 2 – кабель; 3–корпус; 4–муфта; 5–шток; 6–корпус п'єзодавача; 7 –п'єзодавач (чуйник); 8 –гвинт; 9–утримуюча скоба; 10 – гумове кільце

Блок схему вимірювальної апаратури та встановлення давачів на двигун внутрішнього згорання наведено на рисунку 4 і 5.

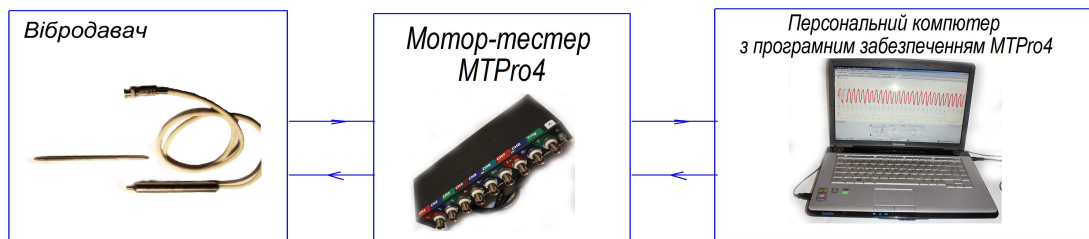


Рисунок 4 - Блок схема вимірювальної апаратури

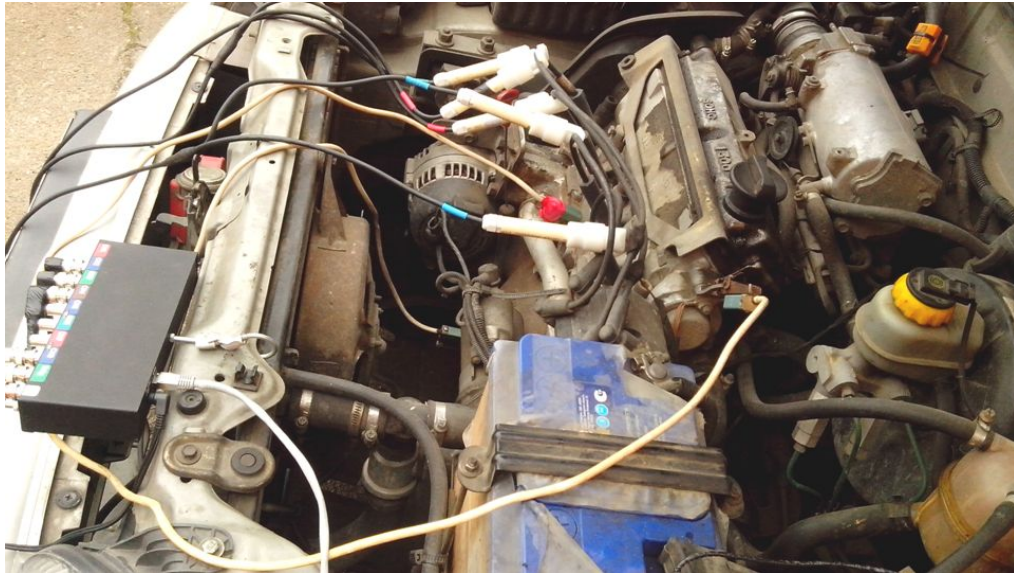


Рисунок 5 - Встановлення датчиків на двигун внутрішнього згорання

Функціонування приладів цього типу базується на принципі п'єзоефекту, який полягає у появі різниці електричних потенціалів на п'єзокристали в результаті його механічної деформації. Така деформація виникає під впливом вібрацій, що генеруються двигуном внутрішнього згорання. Цей фізичний ефект лежить в основі роботи пристроїв, що дозволяють перетворювати механічні коливання у електричний сигнал, який можна аналізувати для діагностики стану моторних систем. У якості прикладу, на рисунку 6 і 7 представлені осцилограми та спектрограма, отримані за допомогою мотортестера МТпро4.



Рисунок 6 - Приклади осцилограми прослуховування ДВЗ виготовленим стетоскопом

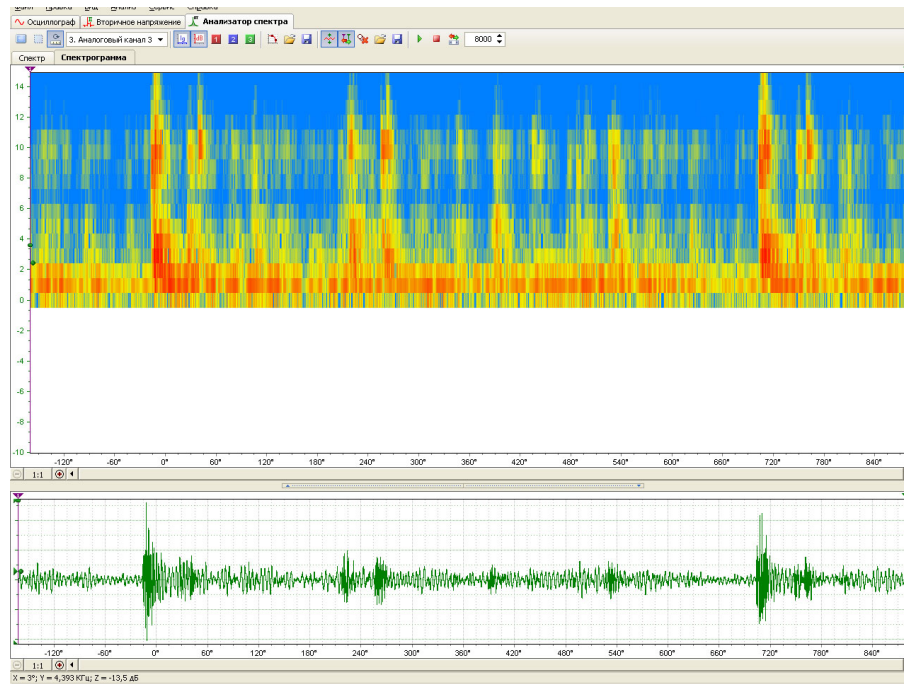


Рисунок 6 - Спектрограма вібрацій ДВЗ

На основі аналізу осцилограми стуків було отримано амплітудно-частотну характеристику (АЧХ) досліджуваних звуків, яку відображено на рисунку 7. Вивчення АЧХ дозволяє оцінити внутрішній стан двигуна, розділивши загальний шум на окремі складові. Це дає змогу визначити джерело стуку, розмір зазору, характер дефекту та інші особливості. Амплітуда сигналу є пропорційною до енергії удару: чим вищий пік на певній частоті, тим більший люфт у з'єднанні. Зіставляючи отриману амплітуду з еталонними значеннями, можна визначити, чи досягло зношення критичного рівня, або ж деталь ще придатна до подальшої експлуатації.

Рисунок 7 - Амплітудно-частотна характеристика досліджуваних стуків

Кожна деталь має свою резонансну частоту. За спектром частот можна визначити, що саме стукає. Низькі частоти (300–800 Гц) зазвичай вказують на масивні деталі — глухі стуки колінчастого валу. Середні частоти (800–1500 Гц) характерні для шатунних підшипників або

стуку поршнів об гільзу. Високі частоти (понад 2000–3000 Гц) свідчать про дефекти клапанного механізму, детонацію або несправність форсунок.

Амплітуда (висота піків на графіку) прямо пропорційна енергії удару: чим вищий пік на певній частоті, тим більший люфт у з'єднанні. Порівнюючи амплітуду з еталонною (для нового двигуна), визначають, чи є зношення критичним, чи деталь ще може працювати. Форма спектру підказує тип проблеми. Стабільні піки свідчать про природне зношення поверхонь, різкі поодинокі сплески – про можливі відколи, задирки на дзеркалі циліндра або потрапляння сторонніх часток, зміщення частоти може свідчити про зміну жорсткості деталей (наприклад, послаблення кріплень або втомні тріщини).

За АЧХ можна відрізнити механічний стук деталей від «жорсткого» згоряння палива. Якщо амплітуда різко зростає при зміні кута випередження впорскування — проблема в налаштуваннях паливної апаратури, а не в зношенні металу.

У процесі роботи проведено аналіз спектрального складу вібраційних сигналів, які виникають під час функціонування ДВЗ, зокрема, досліджено кореляцію між параметрами вібрації, такими як амплітуда і частота, та можливими дефектами двигуна. Отримані результати свідчать про ефективність такого підходу, оскільки дозволяють виявляти приховані дефекти на ранніх етапах їх утворення. Це, у свою чергу, сприяє уникненню аварійних зупинок автомобілів під час їхньої роботи в умовах лісових масивів, покращує економічну ефективність експлуатації техніки та забезпечує можливість більш раціонального планування графіків технічного обслуговування.

Таким чином, запропоновані рішення значно підвищують надійність та продуктивність транспортних засобів, які застосовуються для вивезення деревини, забезпечуючи безперервність та стабільність їх експлуатації навіть у складних умовах роботи. А використання справної техніки є частиною стратегії сталого лісокористування та підвищує конкурентоспроможність лісозаготівельних підприємств.

Використані джерела

1. Библюк Н. І., Герис М. І., Бойко М. М., Щупак А. Л., Шевченко Н. В. Лісотransпортні засоби: конструкція і розрахунок. Частина 1. Загальне компонування. Навч. посібник. – Львів: РВВ НЛТУ України, 2014. – 400 с.
2. Бойко А.А., Основи наукових досліджень процесів лісозаготівлі. Навчальний посібник Львів: РВВ НЛТУ України, 2007. – 104 с.
3. Лудченко О.А. Технічне обслуговування і ремонт автомобілів: Підручник. –К.: Знання-Прес, 2003. -511с
4. Абрамчук Ф. І., Гутаревич Ю. Ф., Долганов К. Є., Тимченко І. І. Автомобільні двигуни. Підручник. - 3-тє видання. Київ: Арістей, 2006.– 476 с.
5. Основи технічної діагностики колісних транспортних засобів: навчальний посібник / Біліченко В. В., Крещенецький В. Л., Кукурудзяк Ю. Ю., Цимбал С. В. – Вінниця: ВНТУ, 2012. – 118 с.
6. Яценко К.Г., Блещенко М.О., Коростильов Г. Л., Чепурний Ю.В. Експериментальне дослідження віброакустичним методом клапанного механізму двигуна внутрішнього згоряння. Системи озброєння і військова техніка. 2020. № 1(61). С.177-182.
7. Urbahs A. The problem of vibro-acoustic diagnostics of gas turbine engine bearing units / A. Urbahs // 20th International Scientific Conference “Mechanika”. – Lithuania, 2015. – P. 268-271.
8. Komorska I. Diagnostic-oriented Vibroacoustic Model of the Reciprocating Engine / I. Komorska // SolidStat. – 2012. – № 180. – P. 214-221.