

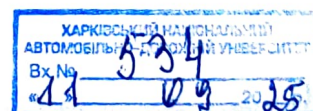
ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

доктора технічних наук, професора Полив'янчука Андрія Павловича
на дисертаційну роботу Хрулєва Олександра Едуардовича
«Метод експериментальної оцінки пошкоджень
двигунів внутрішнього згоряння транспортних засобів»,
подану до захисту на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук
за спеціальністю 05.05.03 – Двигуни та енергетичні установки

1. Актуальність теми дисертації

Актуальність теми зумовлена необхідністю вдосконалення науково-методичного забезпечення діагностики пошкоджень двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ), що має важливе значення для підвищення надійності транспортних засобів, мінімізації економічних та екологічних втрат, а також розвитку автотехнічної експертизи та її прикладних аспектів. Дослідження технічного стану ДВЗ та визначення причин їх несправностей є складним завданням через різноманітність факторів, що впливають на роботу двигуна, зокрема, таких як: порушення умов експлуатації, неякісний ремонт, виробничі дефекти, знос деталей та ін. Несправності призводять до погіршення економічних та екологічних характеристик двигунів, а відсутність точних та достовірних методів їх виявлення призводить до помилок при прийнятті технічних рішень щодо їхнього усунення.

З іншого боку, ефективна діагностика ДВЗ сприяє зменшенню шкідливого впливу транспорту на навколишнє середовище та зниженню економічних витрат на проведення ремонтних робіт, критичних для автотранспортних підприємств і автовиробників. Однак при появі несправностей та відмов у механічній частині двигунів традиційні методи діагностики в цілому характеризуються трудомісткістю, нерідко суб'єктивністю та недостатньою формалізацією алгоритмів, тобто мають обмежене застосування, а в деяких випадках втрачають сенс. У таких умовах розробка нових методів оцінки пошкоджень, включаючи логіко-ймовірнісні підходи та моделювання процесів пошкоджень, відповідає запитам експлуатаційних та ремонтних підприємств, а



також автотехнічних досліджень у рамках судової практики. Це також підтверджує актуальність завдань дисертації, оскільки їх вирішення дозволяє підвищити достовірність автотехнічного дослідження, скоротити час на визначення причин несправностей та запобігти їхньому повторному утворенню.

Крім того, актуальність теми дисертації підтверджується її спрямуванням на підвищення надійності ДВЗ, мінімізацію експлуатаційних економічних та екологічних втрат, удосконалення науково-методичного забезпечення технічної діагностики двигунів. При цьому розроблені методи та методики мають прикладне значення і можуть використовуватись при проведенні автотехнічних досліджень, підготовці кваліфікованих фахівців в галузі двигунобудування, розробці нормативно-технічної документації, автоматизації систем діагностики транспортних засобів, що є актуальним в умовах цифровізації та автоматизації автотранспортної галузі.

2. Загальна характеристика роботи

Дисертацію присвячено розробці методології та методів експериментальної оцінки причин пошкоджень та розвитку несправностей автомобільних двигунів внутрішнього згоряння.

Робота складається із вступу, шести розділів, висновків, а також окремого тому додатків (А–Ж). Обсяг дисертації складає 412 сторінок, містить 172 ілюстрації та 16 таблиць з бібліографією з 419 джерел. Окремий том додатків має обсяг 407 сторінок. У вступі обґрунтовано актуальність, сформульовано мету, завдання, наукову новизну та практичну значимість роботи. Розділ 1 присвячений аналізу сучасного стану проблеми, класифікації пошкоджень та визначенню напрямку дослідження. У розділі 2 описується розроблений логіко-імовірнісний метод діагностики. У розділі 3 наведено методи оцінки пошкоджень при аварійному перегріві двигуна та відмові системи змащення. Розділ 4 представляє модель нерівномірного абразивного зносу з урахуванням двофазних течій повітря з пилом у впускній системі двигуна. У розділі 5 описані розроблені методи оцінки та реконструкції руйнувань при гідроударі в циліндрі, розділ 6 містить результати експериментальної перевірки та впровадження розроблених методів, а висновок підсумовує результати та рекомендації роботи.

В окремому томі додатків містяться описи методик дослідження технічного стану двигунів (додаток А), інструменту та обладнання для експериментальних досліджень (додаток Б), технології контролю та мікрометрування (додаток В), розрахункових даних та результатів моделювання, які не увійшли до основного тому (додаток Г), інформаційного забезпечення, у тому числі опису принципів ретроспективного аналізу (додаток Д). У додатку Е наведено практичні приклади виконаних автотехнічних досліджень, а в додатку Ж – акти щодо впровадження результатів дисертації.

Загалом структура дисертації характеризується логічністю та завершеністю, а дисертація відповідає паспорту спеціальності 05.05.03 «Двигуни та енергетичні установки».

3. Наукова новизна

Наукова новизна дисертації полягає у розробці комплексної методології визначення причин пошкоджень та несправностей двигунів, включаючи турбонаддув, що поєднує теоретичні основи, логіко-імовірнісні методи, моделювання та ретроспективний аналіз для популярних марок автомобілів (розділи 2.1, 6.5). До комплексу розроблених методів входять:

1) удосконалений логіко-імовірнісний метод, який є значним науковим досягненням, оскільки підвищує об'єктивність діагностики відмов та вірогідність правильної оцінки причин несправностей незалежно від кваліфікації спеціаліста (розділи 2.3–2.4);

2) метод оцінки термічних пошкоджень деталей двигуна при аварійної втраті охолоджувальної рідини, що враховує нестационарне нагрівання та затримку показань датчика температури та вперше кількісно описує динаміку термічних відмов (розділи 3.2–3.3);

3) метод оцінки пошкоджень підшипників колінчастого валу при відмові системи змащення, що робить внесок у теорію підшипників двигунів (розділи 3.4–3.5);

4) метод оцінки причин зносу деталей при відмові системи очищення повітря, що моделює нерівномірний розподіл частинок пилу і вперше деталізує газодинамічні процеси, що впливають на знос (розділи 4.1–4.2);

5) методи оцінки та реконструкції пошкоджень при гідроударі, що моделюють деформацію шатуна, поршневого пальця та спідниці поршня і являють собою новий підхід до реконструкції руйнувань у двигунах (розділи 5.1–5.3).

Аналіз перерахованих методів підтверджує наукову новизну роботи, яка забезпечена оригінальністю розроблених моделей, підтверджена їхньою експериментальною перевіркою та впровадженням результатів моделювання у практику автотехнічних досліджень (розділ 6.5, додаток Е).

4. Обґрунтованість наукових положень, висновків та рекомендацій

Наукові положення дисертації базуються на законах механіки, термо- та газодинаміки, теплопередачі, опору матеріалів та матеріалознавства. Так, моделювання нестационарного нагрівання деталей при втраті охолоджувальної рідини (розділи 3.2–3.3) враховує теплофізичні властивості матеріалів, а модель гідроудару (розділи 5.1–5.3) заснована на термодинамічному аналізі процесів у циліндрі та методі кінцевих елементів для аналізу напружено-деформованого стану деталей. Ці підходи відповідають визнаним науковим теоріям та методам досліджень. Розроблена класифікація експлуатаційних та виробничих дефектів (розділи 1.2–1.3) спирається на системний аналіз технічного стану двигунів, включаючи турбонаддув, та враховує взаємодію вузлів (шатунно-поршнева група, підшипники, клапани тощо), що забезпечує наукову основу для діагностики пошкоджень. Теоретичне обґрунтування методу (розділи 2.3–2.4) включає адаптивні моделі, які дозволяють підвищити на 30% вірогідність правильної оцінки причин несправностей, що підкріплено математичним апаратом теорії ймовірностей.

Таким чином, обґрунтованість наукових положень, висновків та рекомендацій дисертації забезпечена використанням відомих наукових методів та теорій при вирішенні поставлених завдань, зокрема, методів аналізу та синтезу інформації, чисельного моделювання, експериментального дослідження, статистичного аналізу та практичної апробації результатів теоретичних досліджень.

5. Достовірність результатів досліджень

Достовірність результатів досліджень забезпечена комплексним підходом, що включає теоретичне моделювання за допомогою апробованих програмних засобів – Lotus Engine Simulation, ANSYS та калібруванням досліджуваних моделей на основі експериментальних даних (розділ 6.4), що підтверджує їхню адекватність. Це забезпечує низьку похибку моделювання, верифікацію результатів із застосуванням апробованих експериментальних методів, технічних засобів та обладнання. Результати досліджень перевірені на автомобільних двигунах різних модифікацій (розділ 6.4), що підтверджує універсальність та достовірність. При цьому експериментально досліджені різні типи пошкоджень ДВЗ, такі як: абразивне зношування та відмови турбокомпресорів, гідроудар, термічні пошкодження та ін.; це демонструє застосовність досліджених діагностичних методів до широкого спектру відмов, які найчастіше зустрічаються на практиці. Разом з цим, при проведенні експериментальних досліджень автором використовувались апробовані методи діагностики, представлені у додатку А, повірений інструмент та обладнання, у тому числі для контролю розмірів та форми деталей (представлені у додатку В).

Висока кореляція розрахункових та експериментальних даних (розділ 6.4.5), низька похибка результатів моделювання гідроудару (розділ 5.3, статистична обробка отриманих даних (розділ 6.4.8) демонструють високу надійність результатів дисертації та підтверджує достовірність її висновків. Додатково слід відзначити те, що розроблені автором діагностичні методи впроваджено у науково-методичну роботу науково-дослідних установ, виробничу діяльність та практику ремонтних робіт (додаток Ж).

6. Важливість для науки та практики

Важливість теоретичної частини роботи обумовлена використанням вдосконаленої методології експериментальної оцінки несправностей двигунів, що включає розвиток логіко-імовірнісного методу аналізу, створення спеціалізованих методів діагностики відмов систем змащення, охолодження, наслідків гідроудару та впливу частинок пилу на абразивне зношування

деталей, а також їх експериментальне обґрунтування, що сприяє розвитку теоретичних основ автотехнічних досліджень.

Аналіз відомих методів моделювання та їх недоліків, виконаний у роботі, з використанням методів аналізу та синтезу, доповнює теоретичну базу досліджень у галузі двигунобудування, особливо у частині моделювання несправностей. Разом з тим, використання математичного та комп'ютерного моделювання, включаючи програму ANSYS для аналізу напружено-деформованого стану деталей та двофазної течії повітря з частинками пилу, поглиблює розуміння механізмів виникнення та розвитку несправностей і дозволяє краще описати причинно-наслідкові зв'язки у процесах виникнення пошкоджень двигунів.

З іншого боку, інтеграція методів аналізу дерева відмов, ретроспективного аналізу історії експлуатації ДВЗ та поділу ознак пошкоджень на головні, підтверджувальні та уточнювальні, забезпечує новий рівень формалізації діагностики пошкоджень, усуваючи суб'єктивність традиційних підходів при дослідженні відмов двигунів. В результаті більш точні методи діагностики та пошуку причин несправностей сприяють зниженню експлуатаційних витрат та підвищенню екологічної безпеки транспортних засобів за рахунок своєчасного виявлення та усунення несправностей, що впливають на шкідливі викиди та паливну ефективність двигуна. Таким чином, дисертація вносить істотний внесок у розвиток теорії діагностування складних технічних систем, зокрема автомобільних транспортних засобів.

7. Зауваження та пропозиції

В цілому, позитивно оцінюючи наукове та практичне значення одержаних результатів дисертаційної роботи, варто звернути увагу на наступні дискусійні положення і окремі недоліки.

1. Логіко-імовірнісний метод (розділ 2) підвищує точність діагностики, але в роботі не розглядається, як його застосування може сприяти дотриманню норм викидів (наприклад, шляхом запобігання несправностям, що ведуть до підвищених викидів).

2. Розроблені методи скорочують час діагностики та підвищують її точність (розділ 2), але в роботі немає даних, як це впливає на зниження екологічних збитків. Наприклад, швидка та точна діагностика пошкодження може запобігти експлуатації несправного двигуна, що скорочує викиди, проте ця сторона проблеми в роботі ніяк не акцентована.

3. У розділі 3.3 зазначено, що термічні пошкодження можуть відбуватися вже через 20 секунд після аварійної втрати охолоджувальної рідини, але не аналізується, як своєчасна діагностика могла б запобігти таким несправностям.

4. Дисертація докладно аналізує ознаки та причини пошкоджень (наприклад, термічні пошкодження, гідроудар, абразивний знос) та їх вплив на експлуатаційні характеристики двигунів, але не розглядає екологічні наслідки цих несправностей. Водночас такі несправності як перегрів (розділ 3.2), відмова системи змащення (розділ 3.3) або гідроудар (розділ 5), можуть призводити до підвищених викидів вуглекислого газу (CO_2), оксидів азоту (NO_x), вуглеводнів (НС) і твердих частинок (РМ).

5. У розділі 6.4 описані експерименти з дослідження пошкоджень, але відсутній аналіз, як, наприклад, перегрів двигуна впливає на збільшення шкідливих викидів через неповне згоряння палива, або наскільки абразивне зношування може підвищити витрату оливи, що забруднює вихлопні гази.

6. Недостатню увагу в роботі приділено можливостям діагностики пошкоджень двигунів за допомогою контролю діагностичних параметрів, що обмежує можливості запропонованого методу та розроблених моделей. Так, відхилення екологічних та економічних показників під час роботи двигуна може свідчити про наявність пошкоджень, однак у роботі таких даних немає;

7. У роботі не обговорюється відповідність розроблених методів діагностики сучасним екологічним стандартам, наприклад, Euro 6 або перспективним, очікуваним в майбутньому – Euro 7. Враховуючи те, що досліджені автомобілі Toyota, Honda, Audi, Mercedes та ін. підлягають цим стандартам, відсутність аналізу щодо їх дотримання знижує актуальність методів у контексті екологічних вимог.

8. У додатку Е описані результати досліджень відмов, але не розглядаються аспекти витікання оливи, палив або утворення фрагментів зруйнованих деталей, коли в навколишнє середовище в результаті відмови та/або руйнування у двигуні можуть потрапити токсичні речовини (наприклад, вуглеводні, важкі метали з підшипників та ін.). Це важливо з погляду екологічної безпеки двигунів, проте не знайшло відображення у роботі.

Відповідно до зазначених зауважень, можна дати наступні рекомендації автору щодо розвитку результатів дисертації у подальших дослідженнях:

1) слід доповнити розділи 1.1, 1.2 і додаток Д аналізом відповідності розроблених методів сучасним та перспективним екологічним стандартам, наприклад, нормам Euro;

2) вважаю доцільним проведення аналізу можливості інтеграції розроблених методів із системами екологічного моніторингу, наприклад, OBD-II та системами контролю шкідливих викидів у реальному часі; такі дані можуть бути додані до розділу 6 або додатку Д; інтеграція моделей з екологічними технологіями підвищить актуальність методів за умов цифровізації та підвищення важливості екологічних вимог на автомобільному транспорті;

3) слід опрацювати питання використання логіко-імовірнісного методу (розділ 2) та даних моделювання (розділи 3–5) у системах OBD-II для раннього виявлення пошкоджень, що впливають на шкідливі викиди;

4) вважаю доцільним доповнення розділу 6.4 аналізом екологічних наслідків несправностей, таких як підвищені викиди CO₂, NO_x, HC та PM під час перегріву, відмови системи змащення або гідроудару; до розділу 6.4 можна включити дані про кореляцію несправностей, наприклад, термічних пошкоджень (розділ 3.3, 4.3), зі збільшенням викидів, супроводжуючи їх розрахунками, що показують, як діагностика пошкоджень може знижувати екологічні збитки.

Загалом зазначені зауваження не мають критичного характеру та не знижують загальної наукової та практичної цінності роботи, але їх усунення чи доопрацювання у майбутніх дослідженнях зробить роботу більш актуальною в контексті сучасних екологічних вимог. При цьому рекомендації, пов'язані з

екологічною спрямованістю досліджень, такі як аналіз рівнів викидів та врахування вимог стандартів Euro, дозволять посилити екологічну складову роботи, зробивши її більш відповідною сучасним тенденціям розвитку автотранспорту.

8. Висновки

Результати аналізу дисертаційної роботи дають підставу для висновку, що дисертація Хрулева О.Е. на тему «Метод експериментальної оцінки пошкоджень двигунів внутрішнього згоряння транспортних засобів» є завершеним науковим дослідженням і містить нові наукові результати, які мають високу теоретичну та практичну значимість. Робота відповідає вимогам до докторських дисертацій, встановленим відповідними вимогами Положень МОН України та відповідає вимогам пунктів 7, 8, 9 Постанови Кабінету Міністрів України від 17.11.2021 №1197 «Порядок присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук», а її автор Хрулев Олександр Едуардович заслуговує на присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.05.03 – Двигуни та енергетичні установки.

Офіційний опонент, доктор технічних наук,
професор кафедри екології, хімії
та технологій захисту довкілля
Вінницького національного технічного
університету

Полив'янчук Андрій Павлович

Ваше секретар
В.М.И., д.т.н.

Полів'янчук С.В.

