

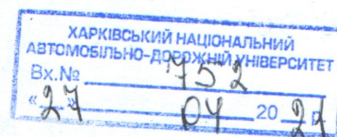
ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу **Молодана Андрія Олександровича** «Наукові основи забезпечення надійності і функціональної стабільності колісних машин в режимі відключення частини циліндрів», що представлена на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту

Для надання відгуку надані дисертація, автореферат та копії опублікованих праць, детальний аналіз яких дозволяє сформулювати наступні узагальнені висновки щодо актуальності і ступеня обґрунтованості основних наукових положень, висновків, рекомендацій, достовірності, наукової новизни, практичного значення, а також загальної оцінки роботи.

Актуальність теми дисертаційної роботи

В умовах експлуатації транспортні двигуни, а також двигуни інших мобільних машин, тривалий час працюють на режимах малих навантажень і холостих ходів, на режимах примусових холостих ходів, а також на неусталених режимах роботи. Всі ці особливості функціонування погіршують експлуатаційні економічні, екологічні показники автомобіля, показники його надійності і довговічності. Важливою проблемою є також зниження мінімально стійкої частоти обертання валу дизеля на режимах холостих ходів і малих навантажень, з метою економії палива. Одним з методів поліпшення економічності режимів мінімального навантаження та холостого ходу є метод регулювання двигуна зміною його робочого об'єму, що досягається вимкнення подач палива в один або декілька циліндрів – відключення циліндрів, а також відключення окремих циклів. Такі рішення можуть бути застосовані для двигунів, що знаходяться в експлуатації, тобто можуть бути реалізовані порівняно простими модернізаційними засобами. Однак, при цьому залишаються не розглянутими питання забезпечення надійності та функціональної стабільності колісних машин в режимі відключення частини



циліндрів, що може суттєво вплинути не тільки на ресурс машини, а і на її безпеку в умовах експлуатації. Тому тема дисертаційної роботи є актуальною.

Актуальність теми також підтверджується тим, що дослідження, які складають основу дисертаційної роботи, проведені відповідно з планом науково-дослідних робіт «Аналіз, розробка і оптимізація конструктивних і технологічних методів підвищення ресурсу автотранспортних систем при виробництві і ремонті» (№ 0115U001609) та з держбюджетною науково-дослідною роботою «Енергозберігаючі маловитратні технології створення та ремонту гібридних транспортних засобів різного призначення» (№ 0119U001298).

Основні наукові положення, висновки і рекомендації, що сформульовані у дисертації, ступінь їх обґрунтованості і достовірності

Наукове завдання забезпечення надійності і функціональної стабільності колісних машин в умовах роботи з відключенням частини циліндрів вирішувалось за рахунок використання сучасних методів математичної статистики та теорії ймовірностей, комп'ютерного моделювання, а також теорії термодинаміки, газодинаміки і теплообміну.

Обґрунтованість та достовірність наукових положень, розроблених в дисертаційній роботі, підтверджується системним підходом до вирішення поставленої задачі, коректністю використання сучасного математичного апарату, сходимістю результатів, отриманих на підставі розрахунків та моделювання з результатами натурних експериментів.

З аналізу представлених результатів досліджень, які виконані для вирішення поставленого наукового завдання, можна зробити висновок, що дисертаційна робота в достатній мірі підтверджена теоретично та експериментально. Робота є обґрунтованою і достовірною та має відчутну наукову новизну та чітку практичну спрямованість, що підтверджено науково-виробничою перевіркою та впровадженням результатів дослідження в ДП «Харківський автомобільний завод», ДП «Харківський завод спеціальних машин», ПАТ «АвтоКрАЗ», АТ «Харківський тракторний завод», ТОВ

«Спецмашбуд» та ННЦ «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства».

Наукова новизна дисертаційної роботи

вперше

– визначено додаткові втрати енергії двигуна на рух колісної машини, обумовлені збільшенням нерівномірного крутильного моменту при відключенні частини циліндрів;

– визначена динаміка зміни ефективної потужності двигуна при розгоні колісної машини з відключенням частини циліндрів;

– встановлено, що при відключенні частини циліндрів, економія палива на холостому ходу й малих навантаженнях визначається залежністю індикаторного коефіцієнта корисної дії від зміни навантаження;

удосконалено

– метод оцінювання технічного стану двигуна колісної машини, який на відміну від відомих методів, дозволяє визначити можливість відключення раціональної кількості циліндрів з використанням штучної нейронної мережі;

отримали подальший розвиток

– метод визначення додаткових втрат енергії двигуна, що обумовлено накладенням вимушених та власних коливань моторно-трансмісійних установок колісних машин за допомогою функції меандру в напрямі використання гармонійного моменту, який відрізняється від відомих використанням рядів Фур'є;

– метод оцінювання надійності базових деталей автотракторного двигуна (колінчастий вал, блок циліндрів) у напрямку оцінювання впливу збільшення нерівномірності крутильного моменту при відключенні частини циліндрів, що, на відміну від відомих, ураховує прийняття мотивованих рішень для управління ризиками експлуатації автотракторного двигуна при відключенні частини циліндрів;

– метод визначення потужності механічних втрат енергії на насосні ходи поршня в напрямку оцінювання впливу підвищення нерівномірності крутильного моменту при відключенні частини циліндрів, який, на відміну від відомих, ураховує зміну температурного режиму у відключеному циліндрі.

Практичне значення дисертаційної роботи

Основні результати дисертаційної роботи, що дозволяють розробити нові підходи до оцінки й підвищення функціональної стабільності та надійності колісних машин при відключенні частини циліндрів, доведені до окремих методів та методик а саме:

– метод підвищення енергетичної ефективності АТД колісної машини шляхом відключення частини його циліндрів;

– метод обґрунтування допустимої кількості відключених циліндрів, що може приводити не тільки до зниження потужності АТД, але й до зниження надійності його роботи;

– метод визначення додаткових витрат енергії, що зумовлено відключенням частини циліндрів АТД;

– метод вимірювання потужності, що розвивається окремими циліндрами шляхом здійснення розгону АТД для визначення повної потужності, з подальшим відключенням циліндру, потужність якого потрібно вимірювати, і повторенням розгону;

– удосконалена методика визначення ККД колісної машини від миттєвої реалізованої потужності АТД шляхом обробки записів бортового реєстратора параметрів руху.

Характеристика основного змісту дисертації

Дисертаційна робота складається зі вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків.

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету і завдання досліджень, визначено наукову новизну, практичне значення та цінність отриманих результатів.

У **першому розділі** «Аналіз відомих методів забезпечення функціональної стабільності та енергетичної ефективності колісних машин в процесі експлуатації» проаналізовано існуючі методи визначення корисної потужності енергетичної установки колісної машини, вплив факторів на її використання та методи оцінювання падіння потужності на ведучих колесах колісної машини в процесі експлуатації. Розглянуто методи покращення функціональної стабільності експлуатаційних властивостей колісних машин у процесі експлуатації та проаналізовано вплив відключення циліндрів на енергоефективність експлуатації двигунів колісних машин.

Автором відзначається, що в існуючих дослідженнях недостатню увагу приділено саме функціональній стабільності колісних машин в умовах режиму відключення частини циліндрів автотракторного двигуна шляхом автоматичного регулювання циклової подачі палива. Встановлено, що потребує дослідження питання впливу вібрації елементів моторно-трансмісійної установки при відключенні частини циліндрів АТД на надійність колісної машини.

За даним розділом можна зробити наступні зауваження:

– на стор. 54 зазначається, що «відомі чотири основні характеристики», які характеризують роботу усіх поршневих ДВЗ, проте за текстом роботи розглянуті тільки дві і жодної уваги не приділено основній характеристиці транспортних двигунів – швидкісній характеристиці;

– як відомо, окремим питанням при конструюванні ДВЗ є збалансування сил, що діють в КШМ та формування стійкої динаміки функціонування двигуна для забезпечення прийнятних значень його віброприскорень з точки зору впливу вібрацій на оператора. Зрозуміло, що відключення циліндрів призводить до розбалансування ДВЗ, яке в даному розділі не розглянуто (хоча про факт виникнення вібрацій зазначено у третьому висновку за розділом);

– оскільки метою роботи (згідно стор. 38) є «забезпечення надійності...колісних машин», слід було у розділі звернути більшу увагу на існуючі відмови як самої енергетичної установки, так і всієї колісної машини. В розділі відсутній огляд робіт з забезпечення надійності окремих елементів транспортного засобу;

– враховуючи те, що задачею досліджень є «удосконалення методів контролю і діагностування технічного стану», доцільно було б розглянути та обґрунтувати діагностичні параметри об'єкта діагностування;

– слід було за текстом роботи більш суттєво розділяти питання відключення циліндрів ДВЗ автомобілів та тракторів, оскільки на бензинових автомобільних енергетичних установках дане питання (як видно з огляду літературних джерел) вивчене більш повно, оскільки може забезпечуватися звичайним електронним керуванням, яким вже обладнано автомобільний ДВЗ.

У другому розділі «Теоретичні дослідження впливу відключення частини циліндрів на характеристики потужності автотракторного двигуна» наведено основні теоретичні положення впливу відключення частини циліндрів на характеристики потужності енергетичної установки колісної машини, на базі яких виконано розрахунок відносної додаткової витрати палива при відключенні частини циліндрів двигуна шляхом урахування нерівномірності тягової сили на ведучих колесах колісної машини при усталеному русі та запропоновано загальний підхід до розв'язання задачі вибору кількості відключених циліндрів у залежності від використання ефективної потужності.

За даним розділом можна зробити наступні зауваження:

– за текстом роботи не зовсім зрозуміло, чому відключення частини циліндрів двигуна, яке розглядалося як спосіб підвищення енергоощадності транспортного засобу, з 95 стор. дисертаційної роботи називається «відмовою», яка є, згідно визначення, подією, що пов'язана з порушенням працездатності стану об'єкта;

– викликає сумніви твердження, яке наведене на стор. 101, щодо зменшення потужності механічних втрат двигуна при вимкненій подачі палива в

один циліндр, оскільки таке вимкнення циліндру не виключає формування насосних ходів та збільшення тертя за рахунок охолодження дзеркала гільзи;

– відомо, що індикаторна потужність – потужність, що розвивається газами всередині циліндру двигуна та визначається на основі тиску, який діє на поршень під час такту розширення та виконує корисну роботу (за індикаторною діаграмою) – індикаторний тиск. Враховуючи відключення подачі палива, незрозумілими є визначення «індикаторна потужність відключеного циліндра» та «індикаторний тиск відключеного циліндра», що використовуються в залежностях (2.26) та (2.27) на стор. 102...103;

– незрозумілим є вивчення роботи, що витрачена на насосні ходи, тільки з урахуванням шляху, пройденого поршнем (залежності (2.30)...(2.34)), адже в дані витрати включають і збільшення тертя кілець по холодній гільзі, і переміщення деталей КШМ, і т.п.;

– при розкладанні меандру в ряд Фур'є не вказана кількість гармонік N , що використовуються в рівнянні (2.56) на стор. 112. Доцільно було б розглядати варіант $N \rightarrow \infty$, оскільки таке спрямування дозволяє синтезувати меандр з набору гармонік періодичного сигналу з максимально можливою апроксимацією;

– викликає сумніви правомірність твердження, наведеного на стор. 129, що «об'єктивним показником наробітку автомобіля є виконана двигуном робота», оскільки робота двигуна на холостому ході при вимкненому зчепленні і непрацюючій трансмісії не збільшує наробіток всієї колісної машини.

У третьому розділі «Експериментальні дослідження визначення зміни потужності на колесах машини при відключення одного або декількох циліндрів двигуна» наведено результати експериментальних досліджень визначення зміни потужності на колесах машини при відключенні одного або декількох циліндрів двигуна. Дані, що отримані в результаті експериментальних досліджень, підтверджують доцільність усунення механічних (насосних) втрат у відключених циліндрах, відключення яких може відбуватися з метою економії

палива при роботі двигуна вантажного автомобіля з невеликим навантаженням та на холостому ході.

За даним розділом можна зробити наступні зауваження:

- на стор. 156...157 зазначено, що експериментальні дослідження проводились при розгоні автомобіля на другій передачі, проте обґрунтування вибору даної передачі для проведення досліджень відсутнє;

- досить дивно виглядає висновок, наведений на стор. 171, що «доцільність усунення механічних (насосних) втрат у відключених циліндрах вантажного автомобіля істотно більша, ніж для легкового». Слід було зробити висновок з урахуванням різних типів ДВЗ: дизельного та бензинового, а не враховуючи тип транспортного засобу;

- за текстом розділу існує невідповідність у зношенні шин автомобілів, що приймали участь у дослідженнях, оскільки на стор. 145 зазначено, що «шини вантажного автомобіля КрАЗ-255Б нові, не зношені», а на стор. 149 відзначено, що «шини чисті, сухі, а знос рисунка протектора не більше 5%»;

- в розділі не висвітлено питання, чому вивчався перехідний процес руху автомобіля – розгін. Окрім того, відомо, що основним показником ДВЗ, який впливає на розгін транспортного засобу, є крутний момент, а не потужність, яка вивчається в експериментальних дослідженнях;

- підрозділ 3.2 (стор. 172) називається «Підвищення надійності системи відключення циліндрів...». Однак у самому підрозділі наведена тільки запропонована схема відключення з описом її роботи. Незрозуміло, яким саме чином забезпечується підвищення надійності системи, особливо на фоні збільшення її елементів та ускладнення конструкції в цілому.

У четвертому розділі «Прогнозування та оцінювання надійності автотракторного двигуна при відключенні циліндрів» розроблено алгоритм оцінювання напрацювання деталей двигуна до відмови по втомній міцності, що дозволяє виконати прогнозування та оцінювання надійності автотракторного двигуна при відключенні частини циліндрів. Обґрунтовано критерій і розроблено метод визначення ймовірності відмови двигуна за коефіцієнтом запасу міцності

при відключенні частини циліндрів. Виконано оцінювання залишкового напрацювання до відмови деталі з тріщиною в автотракторному двигуні при відключенні частини циліндрів.

За даним розділом можна зробити наступні зауваження:

- у підрозділах 4.2.2 та 4.2.3 розглядається питання втомного руйнування деталей автотракторних ДВЗ. Проте відомо, що основними показниками циклу навантаження є максимальні та мінімальні напруження циклу, величини яких не використовуються;

- навряд чи можна стверджувати, що варіант, коли «тріщина не розвивається і можна експлуатувати автотракторний двигун навіть з відключеними циліндрами» є найбільш навантаженим варіантом експлуатації ДВЗ, оскільки, як зазначалося у попередніх розділах, режим з відключенням циліндрів – це режим недозавантаження двигуна. Тому не можна говорити, що тріщина, яка не розвивається при відключенні циліндрів, не призведе до відмови деталі або всього двигуна при максимальному навантаженні останнього;

- не обгрунтовано вибір шатуна в якості базової деталі для вивчення впливу тріщини на надійність ДВЗ, особливо враховуючи той факт, що на початку розділу дана деталь та її відмова не були віднесені до критичних;

- на стор. 213 згадується про проведення статистичних випробувань, однак ніде за текстом не наведені їх методика та вхідні параметри. Також незрозуміло, чи виконувалось прискорення даних випробувань за відомими методиками проведення ресурсних досліджень.

У п'ятому розділі «Теоретичні та експериментальні дослідження впливу робочих процесів автотракторного двигуна на динамічні властивості колісних машин при відключенні частини циліндрів» наведено результати теоретичних й експериментальних досліджень впливу робочих процесів автотракторного двигуна на динамічні властивості колісних машин при відключенні частини циліндрів. При цьому автором відзначено, що при відключенні половини циліндрів, номінальна потужність двигуна становить 35...40 % від початкової.

За даним розділом можна зробити наступні зауваження:

– з рис. 5.2. на стор. 230 можна зробити висновок, що відключення 50% циліндрів (крива 2) на знижених обертах холостого ходу (до 2000 об/хв) не призводить до зниження годинної витрати палива у порівнянні з ДВЗ з усіма працюючими циліндрами (крива 1). Чи є тоді сенс, у відповідності з даним рисунком, у відключенні частини циліндрів на режимі недовантаження;

– зручнішими з точки зору порівняння були б величини, які є не узагальненими для всього двигуна (як, наприклад, температура відпрацьованих газів у випускному колекторі, що наведена на рис. 5.7), а окремими, індикаторними, для кожного циліндра;

– на стор. 256 зазначається про теорему Абеля-Руффіна для алгебраїчних рівнянь п'ятого ступеня, однак саме рівняння (5.34), до якого використовується дана теорема, має четвертий ступінь;

– не зовсім зрозумілим є аналіз роботи двигуна транспортного типу за показниками потужності, оскільки для автомобіля (навіть вантажного) визначальними є транспортні (залежність крутного моменту від числа обертів) та екологічні характеристики, які в розділі не досліджувались;

– на стор. 272 відзначається, що для оцінки впливу відключення частини циліндрів на динамічні характеристики ДВЗ, «була розроблена математична модель і методика...визначення сил та моментів, що діють в КШМ», яка в розділі не представлена.

У шостому розділі «Розробка методів контролю і діагностування технічного стану колісних машин для забезпечення надійності і функціональної стабільності їх тягових властивостей з використанням штучної нейронної мережі» виконана розробка методів діагностування для забезпечення надійності й функціональної стабільності тягових властивостей колісних машин з використанням штучної нейронної мережі.

За даним розділом можна зробити наступні зауваження:

– за текстом розділу незрозуміло що мається на увазі під «середньостатистичний АТД» (стор. 277 та рис. 6.2, стор. 278). По-перше, чи є даний середньостатистичний ДВЗ дизельним, чи бензиновим, а по-друге, які

самі показники йому притаманні (нового ДВЗ, чи після деякого, певного, наробітку)?

– на рис. 281 відмічається використання персептрона для формування нейромережі. Проте, слід було детально зупинитися на класифікаційних ознаках даного персептрона: кількість прихованих шарів, порогова передавальна функція і т.п. Також окремим питанням є принцип формування асоціативних А-елементів персептрона при наведених станах сенсорних S-елементів;

– на стор. 283 у табл. 6.3 наведена зміна помилки навчання в залежності від S-елементів, однак не зазначена ні система підкріплення, ні принципи навчання (з вчителем, без вчителя, за алгоритмом оберненого поширення помилки і т.п.);

– як відомо, нейромережа з шаром Кохонена на базі адаптивних лінійних суматорів працює на принципі призначення найбільшому сигналу логічної «одиниці» з обнулінням усіх інших сигналів. Враховуючи той факт, що значення деяких S-елементів залежні між собою (наприклад, погодинна та питома втрати палива), можна передбачити надлишковість нейромережі, що призведе до збільшення машинного часу її функціонування;

– за текстом розділу незрозуміло, чи є вибірки, які зазначені на стор. 300 (рис. 6.9 та 6.10) експериментальними. Якщо так, то слід було описати умови та методики проведення такого експерименту з зазначеною потужністю множин навчальних даних.

Достовірність і новизна висновків та результатів дисертації

Основні результати наукових досліджень відображено як у висновках за розділами, та і у одинадцяти загальних висновках дисертаційної роботи. Відносно обґрунтованості і достовірності кожного висновку можна зробити наступні зауваження.

У першому висновку вказано, з урахуванням аналізу останніх досягнень та публікацій, на недостатні дослідження з проблеми надійності та функціональної

стабільності колісних машин в умовах відключення частини циліндрів енергетичної установки. У висновку звертається увага на можливість використання нейронних мереж та нечіткої логіки для підвищення точності і якості оцінювання динамічних процесів, яким в роботі приділено недостатньо уваги.

Другий висновок науково обґрунтований, має наукове і практичне значення. При формулюванні висновку слід було зазначити чисельні значення, не використовуючи загальні фрази типу «при малих навантаженнях» або «потрібної ефективної потужності».

Третій висновок достовірний, стосується умов формування стану підтискних пружин електромагнітних клапанів, що встановлені поза межами порожнин високого тиску. Зауважень немає.

Четвертий висновок достовірний, базується на результатах експериментальних досліджень з впливу відключення частини циліндрів енергетичної установки на величину падіння потужності на ведучих колесах транспортного засобу. У висновку слід було б звернути увагу на обґрунтованість відключення двох циліндрів на легковому автомобілі та чотирьох циліндрів на вантажному.

П'ятий висновок науково обґрунтований, має наукову та практичну спрямованість. Зауважень немає.

Шостий висновок достовірний та обґрунтовує, на основі теоретичних досліджень, метод оцінювання надійності базових деталей енергетичної установки за втомною міцністю при відключенні частини циліндрів. У висновку, як і у розділі відсутнє обґрунтування базової деталі при проведенні досліджень.

Сьомий висновок інформує про синтез методу оцінки впливу відключення будь-якої кількості циліндрів на паливно-економічні та потужнісні показники роботи ДВЗ. Висновок обґрунтований і вагомий. Зауважень немає.

Восьмий висновок достовірний. Ґрунтується на результатах теоретичних досліджень впливу відключення частини циліндрів ДВЗ на характеристик

останнього. У висновку слід було зазначити, яким саме чином забезпечувалось «усунення насосних втрат» при проведенні експериментальних досліджень.

Дев'ятий висновок висвітлює особливості витрати палива двигуном внутрішнього згоряння при роботі колісної машини в різних умовах навантаження. Висновок достовірний та має науково-практичне спрямування. У висновку слід було зазначити марку та тип колісної машини, для якої наведені чисельні значення.

Десятий висновок визначає принципи удосконалення інтелектуальної бортової системи транспортного засобу з використанням штучної нейронної мережі. Висновок має практичне значення. Зауваження відсутні.

Одинадцятий висновок інформує про впровадження рекомендацій, що розроблені з використанням результатів теоретичних і експериментальних досліджень, у виробництво. Достовірність висновку підтверджується актами впровадження.

Загальна оцінка розділу «Висновки»: висновки достовірні, мають наукову і практичну спрямованість. Наукова новизна роботи в повній мірі знайшла своє відображення у висновках дисертації.

Повнота викладення наукових положень в опублікованих працях

Основні положення дисертаційної роботи опубліковані в 47 наукових працях, у тому числі: 1 монографія; 23 статті у наукових фахових виданнях України та інших держав (4 статті у виданнях, що індексуються наукометричною базою Scopus та Web of Science); 17 тез у збірниках доповідей на наукових конференціях; отримано 1 патенти України. Зміст публікацій, які відображують наукову новизну роботи, в різних виданнях не повторюється.

Висновок

Дисертаційна робота Молодана А.О. «Наукові основи забезпечення надійності і функціональної стабільності колісних машин в режимі відключення частини циліндрів» є актуальною і завершеною науковою роботою, яка

відповідає вимогам пунктів 9, 10 та 12 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого Постановою Кабінету міністрів України від 24.07.2013 року №567 (зі змінами) та паспорту спеціальності 05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту, а її автор, Молодан Андрій Олександрович, заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту.

Офіційний опонент

завідувач кафедри експлуатації, надійності,

міцності та будівництва імені В.Я. Аніловича

Харківського національного технічного університету

сільськогосподарства імені Петра Василенка,

доктор технічних наук, професор

Є.І. Калінін



[Handwritten signature]
Калінін Є.І.
ЗАСВІДЧУЮ
Відділу діловодства ХНТУСГ
[Handwritten signature]