ВІДГУК

офіційного опонента к.т.н., доцента Нєженцева О.Б.

на дисертаційну роботу **Ломакіна Володимира Олександровича**

«Зменшення нерівномірності ходу двигуна внутрішнього згоряння удосконаленням конструкції маховика», представлену на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю

05.05.03 – Двигуни та енергетичні установки

Актуальність теми дисертації.

Однією з технічних вимог до сучасних двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ) є забезпечення низького рівня нерівномірності ходу при високих показниках потужності та низьких втратах енергії.

Рівномірність обертання колінчастого вала є узагальнюючою характеристикою робочих процесів поршневих ДВЗ, яка визначає вплив пульсуючого крутного моменту на їхні конструктивні елементи та трансмісію. Зменшення нерівномірності ходу особливо актуально при рішенні нестаціонарних задач, пов'язаних з коливальними процесами в ДВЗ та трансмісії. Наприклад, при русі транспортних засобів по бездоріжжю або дорогам із зношеним покриттям (що актуально для сьогодення України), які викликають значні коливальні процеси в трансмісії. Використання спеціалізованих пристроїв, що дозволяють знизити коливальні процеси та нерівномірність ходу є однією з пріоритетних задач. Доказом останнього є широке використання маховиків в сучасних транспортних засобах. Це визначає необхідність проведення досліджень спрямованих на удосконалення вказаних пристроїв та розробки наукових основ для визначення впливу на нерівномірність ходу ДВЗ параметрів кривошипно-шатунних механізмів (КШМ) з різною кількістю циліндрів та схем їх з'єднань. Тому актуальність теми дисертації переконливо підтверджується її направленістю на рішення наведених вище важливих науково-технічних задач.

Дисертація Ломакіна В.О. має зв'язок з науковими програмами, темами, планами. Вона виконана у відповідності з науково-дослідною тематикою кафедри

КАНЦЕЛЯРІЯ НТ
Вх. № 01/641
«03» 05. 2018 р.

автомобілів і транспортних технологій Житомирського державного технологічного університету в ході виконання держбюджетної теми «Удосконалення маховика одноциліндрового двигуна внутрішнього згоряння» (номер держреєстрації № 0116U005301) та пріоритетним напрямком «Транспортної стратегії України на період до 2020 року» (Розпорядження Кабінету Міністрів України від 20.10.2010 р. №2174-р).

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій є високою та базується на аналізі літературних джерел за темою дисертації, чіткій постановці мети і задач дослідження, використанні сучасних методів теоретичних та експериментальних досліджень, зіставлені та аналізі отриманих результатів у порівнянні з іншими роботами.

При обґрунтуванні наукових положень в дисертаційній роботі використано апробовані методи теоретичної механіки, теорії механізмів і машин, статистичної обробки результатів вимірювань, математичний апарат закону про зміну кінетичної енергії, методу найменших квадратів.

Численні експериментальні дослідження виконані на двигуні внутрішнього згоряння Д-3, автомобілі ЗАЗ-1103 «Славута» з двигуном МеМЗ-2457, а також на двигуні FP10C. Отримані результати статистично оброблені, побудовані рівняння регресії, які перевірені на адекватність за критерієм Фішера, що підтверджує обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій.

Все це свідчить про високій рівень обґрунтованості наукових положень, висновків по розділах дисертаційної роботи та загальних висновків і рекомендацій, сформульованих за результатами теоретичних та експериментальних досліджень.

Загальна характеристика структури і змісту дисертаційної роботи.

Дисертація складається з анотацій, вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг дисертації складає - 194 сторінки, з них 64 рисунки, 17 таблиць по тексту, 15 сторінок, що вміщують

список використаних джерел з 128 найменувань, анотації на 14 сторінках та додатки на 20 сторінках.

У **вступі** обґрунтовано актуальність, наукове і практичне значення досліджень за темою дисертаційної роботи, сформульовано мету та задачі досліджень, наведені дані про зв'язок роботи з науковими темами, інформацією про апробацію роботи та публікації основних результатів.

У першому розділі розглянуто класичні положення динаміки приведення мас кривошипно-шатунного механізму та визначення його приведеного моменту інерції. Виконано огляд опублікованих робіт за темою дисертації. Автором описано основні випадки, коли приведений момент інерції ДВЗ слід розглядати як змінну величину. Розглянуто питання втрат енергії в приводі автомобіля внаслідок крутильних коливань приводу з використанням ДВЗ. Наголошено, що внутрішнє тертя в матеріалі та тертя в з'єднаннях є основною причиною розсіювання енергії.

Також в розділі проаналізовано основні методики визначення динамічних параметрів ДВЗ та пристрої для їх реалізації, зокрема визначення крутного моменту, діагностування без розбирання ДВЗ та індицирування.

В результаті автором визначено, що зміну приведеного моменту інерції кривошипно-шатунного механізму ДВЗ слід розглядати при вирішенні задач пов'язаних з коливаннями ДВЗ та діагностуванні. Узагальнення проведених в розділі досліджень повно і лаконічно наведені у висновках.

Другий розділ дисертації присвячений розробленню математичних моделей зміни положення центра мас кривошипно-шатунного механізму та зміни його приведеного моменту інерції в залежності від кута повороту колінчастого вала та конструктивних параметрів.

Математичні моделі побудовано коректно при відповідних припущеннях, що дало змогу автору отримати прийнятні для розрахунків вирази. Для можливості порівняння отриманих результатів автором запропоновано використовувати коефіцієнт зміни приведеного моменту інерції кривошипно-шатунного механізму ДВЗ та коефіцієнт зміни положення центра мас. Проведення

порівняльного аналізу введених коефіцієнтів дозволило визначити найвпливовіші конструктивні параметри на положення центра мас та приведений момент інерції кривошипно-шатунного механізму ДВЗ.

Розповсюдження математичної моделі на багатоциліндрові двигуни внутрішнього згоряння дозволило визначити, що зміна приведеного моменту інерції кривошипно-шатунного механізму є значимою при кількості циліндрів до 4-х включно. Автором було визначено відносну похибку отриманої математичної моделі щодо комп'ютерного моделювання.

У **третьому розділі** дисертації представлено опис експериментального дослідження приведеного моменту інерції двигуна Д-3 та нерівномірності ходу двигуна МеМЗ-2457. Детально розглянуто вимірювально-реєструюче обладнання та алгоритм проведення експерименту.

Автором отримані результати експериментальних досліджень визначення приведеного моменту інерції двигуна Д-3 та нерівномірності ходу МеМЗ-2457 на різних режимах роботи. На основі отриманих експериментальних результатів було визначено відносну величину зміни приведеного моменту інерції кривошипно-шатунного механізму Д-3 та нерівномірність ходу двигуна МеМЗ-2457 протягом 200 послідовних циклів роботи.

Даний розділ свідчить про достатньо високу кваліфікацію автора дисертації щодо проведення експериментальних досліджень.

Четвертий розділ дисертації присвячений аналізу експериментальних даних по двигуну МеМЗ-2457 та впливу зміни приведеного моменту інерції кривошипно-шатунного механізму на усталений режим роботи. Автором застосований регресійний аналіз с використанням ряду Фур'є для побудови рівнянь регресії, які дозволяють визначати частоту обертання колінчастого валу. Вказані рівняння регресії були перевірені на адекватність за критерієм Фішера. Також проаналізовано зміни сумарного приведеного моменту двигуна МеМЗ-2457 та приведеного моменту інерції його кривошипно-шатунного механізму від кута повороту колінчастого валу за цикл.

В результаті встановлено, що зміна приведеного моменту інерції кривошипно-шатунного механізму суттєво впливає на нерівномірність ходу: змінює кінетичну енергію нерівномірність ходу за цикл від -13,1% до +23,3% в залежності від режиму роботи.

П'ятий розділ дисертації присвячений експериментальній реєстрації сумарного моменту поршневого двигуна та конструюванню і експериментальній перевірці роботи маховика змінного моменту інерції.

Представлена конструкційна схема маховика змінного моменту інерції та побудовано дослідний зразок для двигуна FP10C. Конструкція дослідного зразка достатньо повно представлена на ескізних кресленнях та фотографіях.

Для перевірки впливу маховика змінного моменту інерції на нерівномірність ходу двигуна внутрішнього згоряння було розроблено програмно-апаратний комплекс, обладнання якого достатньо повно описано автором і представлено у вигляді схем та фотографій.

В результаті проведення експериментальних досліджень нерівномірності ходу двигуна внутрішнього згоряння FP10C було встановлено, що маховик змінного моменту інерції суттєво знижує нерівномірність ходу: на 35,1% при холостому ході і на 37,5% при повному завантаженні. При цьому також спостерігається зниження витрати палива: на 9,6% при холостому ході і на 6,4% при повному завантаженні.

Висновки містять коректно сформульовані основні теоретичні і практичні результати, що отримані дисертантом, і повністю віддзеркалюють результати теоретичних та експериментальних досліджень, скерованих на зменшення нерівномірності ходу двигуна внутрішнього згоряння удосконаленням конструкції маховика зі змінним моментом інерції.

Достовірність і новизна висновків і рекомендацій

Достовірність результатів теоретичних і експериментальних досліджень стосовно зменшення нерівномірності ходу двигуна внутрішнього згоряння шляхом удосконаленням конструкції маховика базується на:

– введенні поняття коефіцієнта зміни положення центра мас кривошипно-шатунного механізму та запропонованому виразу для його визначення, що дозволяє оцінювати зміну положення центра мас КШМ двигунів внутрішнього згоряння в залежності від кута повороту колінчастого вала;

– введенні поняття коефіцієнта зміни приведеного моменту інерції кривошипно-шатунного механізму двигунів внутрішнього згоряння та запропонованому виразу для його визначення, що дозволяє оцінювати зміну приведеного моменту інерції КШМ ДВЗ в залежності від кута повороту колінчастого вала;

– розробленій математичній моделі зміни положення центра мас та приведеного моменту інерції кривошипно-шатунного механізму двигуна внутрішнього згоряння в залежності від його масово-геометричних параметрів;

– розроблених рекомендаціях щодо вибору масо-геометричних параметрів при конструюванні двигунів внутрішнього згоряння для мінімізації впливу приведеного моменту інерції кривошипно-шатунного механізму на нерівномірність його ходу;

– запропонованій конструкції маховика змінного приведеного моменту інерції, що забезпечує легкий пуск, зменшує нерівномірність ходу, покращує параметри прийомистості двигунів внутрішнього згоряння;

– запропонованому способі експериментальної реєстрації сумарного моменту поршневого двигуна внутрішнього згоряння з урахуванням зміни приведеного моменту інерції кривошипно-шатунного механізму двигуна.

Проведені автором ґрунтовні експериментальні дослідження (розділи 3 і 5) з урахуванням обсягу вибірки, що дорівнює 240 послідовних циклів роботи, порівняння результатів експериментальних і теоретичних досліджень свідчать про високу достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій в роботі.

Новизна загальних висновків та рекомендацій стосується зменшення нерівномірності ходу двигуна внутрішнього згоряння удосконаленням конструкції маховика зі змінним моментом інерції.

Значимість для науки і практичного використання одержаних автором результатів

Автором розроблено математичні моделі зміни положення центра мас та приведеного моменту інерції кривошипно-шатунного механізму двигуна внутрішнього згоряння в залежності від його масо-геометричних параметрів. Розроблено рекомендації щодо вибору масо-геометричних параметрів при конструюванні двигунів для мінімізації впливу приведеного моменту інерції кривошипно-шатунного механізму на нерівномірність його ходу.

В роботі запропоновано оригінальну конструкцію маховика змінного приведеного моменту інерції протягом одного оберту, що забезпечує легкий пуск, зменшує нерівномірність ходу, покращує параметри прийомистості двигуна [Патент України на винахід № 94321 С2 від 26.04.2011р., Бюл. № 8];

Запропоновано спосіб експериментальної реєстрації сумарного моменту поршневого двигуна внутрішнього згоряння з урахуванням зміни приведеного моменту інерції кривошипно-шатунного механізму [Патент України № 85252 С2 від 24.01.2007р., Бюл. № 1];

Важливою складовою практичного значення роботи є впровадження результатів досліджень у навчальний процес Житомирського державного технологічного університету, в ДП «Житомирський бронетанковий завод», та ПІІ ТОВ «Даніко» (Черняхівський район, смт. Черняхів).

Повнота викладу матеріалів дисертації в опублікованих наукових працях.

Перегляд публікацій за темою дисертації засвідчує повноту викладення основних результатів проведених досліджень в опублікованих у 29 наукових працях, з яких 1 монографія (у співавторстві), 18 – у фахових виданнях України, 3 – у закордонних наукових періодичних виданнях, 2 патенти України на винахід, 5 – у матеріалах і тезах конференцій.

Автореферат за змістом і структурою відображає основні наукові та практичні результати досліджень дисертації.

Зауваження:

1. В розділі 1.2 забагато уваги приділено відомим положенням приведення мас.
2. В розділі 2.2 наведено математичну модель шатуна, яка є досить громіздкою, і не зовсім зрозуміло чи її використання спрощує розрахунки.
3. З тексту дисертації не зрозуміло чи аналізувалися кривошипно-шатунні механізми з дезаксажем поршневого пальця, та як це впливає на приведений момент інерції кривошипно-шатунного механізму.
4. На рис. 3.11 – 3.16 з експериментальними даними нерівномірності ходу двигуна МеМЗ-2457 важко зрозуміти дуже маленькі надписи, що ускладнює аналіз.
5. З рис. 5.13 – 5.14 не зрозуміло яким чином енергія коливальних процесів колінчастого вала зменшилась в 2,24 рази та в 10,83 рази відповідно.
6. В розділі 4 перевірка адекватності регресійної моделі здійснювалася декілька разів - для кожної середньої частоти колінчастого вала за однією методикою, хоча можна було б навести розрахунки тільки один раз, тому що результати решти все одно показані в табл. 4.2.
7. Не зрозуміло навіщо в Додаток Б (с. 178 – с. 182) поміщати знову Список опублікованих праць автора (та ще починати нумерацію з номера 30), який вже є в Анотації (с. 4 - с. 8), та входить до Списку використаних джерел (с. 160 - 174)
8. В тексті та формулах дисертації зустрічаються неточності.

Наведені зауваження не зменшують наукової та практичної значимості отриманих результатів і суттєво не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи Ломакіна В.О.

Висновки по дисертаційній роботі.

Дисертаційна робота Ломакіна Володимира Олександровича «Зменшення нерівномірності ходу двигуна внутрішнього згоряння удосконаленням конструкції маховика» є завершеною науковою працею, в якій отримано нові обґрунтовані результати, що в сукупності розв'язують актуальну науково-технічну задачу зменшення нерівномірності ходу двигуна внутрішнього згоряння

та пов'язаних з цим коливальних процесів, що досягається удосконаленням конструкції маховика зі змінним моментом інерції, і приводить до підвищення енергоефективності двигуна.

Зміст і структура дисертації відповідають паспорту спеціальності 05.05.03 – двигуни та енергетичні установки.

Дисертаційна робота за актуальністю, науковою і практичною цінністю результатів, достовірністю і обґрунтованістю виконана на належному науковому рівні і відповідає вимогам п.п. 9, 11 і 12 «Порядку присудження наукових ступенів…» до кандидатських дисертацій, а її автор Ломакін Володимир Олександрович заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.03 – двигуни та енергетичні установки.

Офіційний опонент, канд. техн. наук,
доцент кафедри прикладної механіки
Національного технічного університету
України «Київський політехнічний
інститут ім. Ігоря Сікорського» Нєженцев О.Б.

Підпис засвідчую:
Вчений секретар Національного
технічного Університету України
«Київський політехнічний інститут
ім. Ігоря Сікорського» Мельниченко А.А.