

## ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Москаленко Івана Миколайовича на тему "Удосконалення методів профілювання бічної поверхні поршнів двигунів внутрішнього згоряння", представлену на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.03 – двигуни та енергетичні установки

На основі вивчення дисертаційної роботи, її автореферату, опублікованих за темою дисертації наукових праць здобувача можна зробити представлений нижче аргументований висновок, орієнтований на висвітлення виділених обов'язкових питань.

*Актуальність обраної теми, а також її відповідність паспорту спеціальності 05.05.03*, не викликають сумнівів, оскільки дисертація спрямована на вирішення важливої для двигунобудівної галузі України науково - технічної задачі по розробці сучасних конструкцій поршнів циліндропоршневих груп, що мають високі технічні характеристики: знижене тертя, масу, шум і вібрацію, підвищений ресурс. Вдосконаленням поршнів в останні роки займаються багато провідних двигунобудівних фірм, в тому числі й харківське підприємство «АВТРАМАТ», що спеціалізується на випуску цих виробів і на якому виконувалася експериментальна частина дисертації. Матеріали дисертації та її напрям досліджень пов'язані з виконанням трьох держбюджетних тем Міністерства освіти та науки України. Додатковим підтвердженням актуальності цієї роботи є те, що її автором є начальник бюро управління по модернізації вертолітної техніки АТ «МОТОР СІЧ» (м. Запоріжжя), яке розробляє високообертові поршневі двигуни.

*Слід зазначити досить високий ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертації.*

Виконаний автором аналіз літературних джерел в обумовленому темою напрямку, а також використання фундаментальних положень і законів теорії теплових двигунів, теоретичної та прикладної механіки, технічної термодинаміки, дозволили обґрунтовано сформулювати основні принципи вдосконалення форми бокової поверхні поршнів для високооборотних двигунів, які ґрунтуються на комплексному врахуванні силових факторів, впливу мастильного шару і термічних деформацій деталей. Для реалізації цих принципів дисертантом був розроблений оригінальний комплекс для експериментальних досліджень поршня в умовах моторного стенда, який використовує датчики для безконтактного вимірювання зазорів. Результати експериментальних досліджень були використані при розробці вдосконаленої математичної моделі розрахунку динаміки поршня, яка враховує пружні і термічні деформації поршня, а також залежність поля тисків мастила в зазорі між поршнем і циліндром від швидкості і положення поршня. Вказана математична модель є ядром дисертації, а отримані за її допомогою результати, зокрема нова форма бічної поверхні поршня, впроваджені у виробництво.

На думку опонента, всі пункти *наукової новизни*, зазначені в загальній частині автореферату, мають обґрунтоване підтвердження в тексті дисертації.

*Достовірність* представлених в дисертації матеріалів в достатній мірі підтверджена близькістю результатів теоретичних і розрахункових досліджень з результатами експериментальних досліджень на моторних стендах ПАТ «АВТРАМАТ» та НАУ ім. Н.С. Жуковського «ХАІ», які були проведені за апробованими методиками випробувань із застосуванням сучасної вимірювальної і реєструвальної апаратури.

*Апробація і повнота опублікування основних результатів дисертації.* Матеріали дисертаційної роботи Москаленко І.М. достатньо повно доповідались і позитивно оцінені на науково-технічних конференціях та конгресах по проблемах розвитку ДВЗ (м. Харків, 2008, Крим, с. Рибаче, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013 р.).

Основні результати дисертації практично повністю викладені в 7-ми публікаціях у наукових виданнях за профілем спеціальності, в тому числі чотирьох статтях у науковому журналі і одній статті у зарубіжному періодичному виданні. Ці статті задовольняють вимогам ДАК України до авторства, співавторства і видам видань.

*Зміст автореферату* включає основні положення та результати дисертаційної роботи і повністю їй відповідає.

### **Оцінка змісту дисертації, недоліки і зауваження.**

Дисертаційна робота Москаленко І.М. складається зі вступу (де описана актуальність теми, сформульовані цілі та задачі дослідження, наведена загальна характеристика роботи), чотирьох основних розділів, висновків, списку використаних джерел і чотирьох додатків. Структура і обсяг дисертації відповідають вимогам ДАК України.

**У першому розділі** наведено огляд і аналіз відомих технічних рішень, спрямованих на розробку і впровадження прогресивних конструкцій поршнів для ДВЗ. Розділ містить об'єктивний опис сучасного стану справ у вирішенні цієї проблеми. Слід особливо підкреслити глибину і фундаментальний характер наведеного критичного огляду відомих методів профілювання бічної поверхні поршня. Автор розділив наукові роботи, що проводяться в цій області, на три напрямки: розрахунково-експериментальні методи профілювання, роботи з впровадження нових конструкторських рішень, методи експериментального дослідження руху поршня. Дисертація, що аналізується (і це повністю відповідає сформульованій меті роботи), вносить вагомий внесок в перший і третій напрямки. Зроблені в розділі висновки щодо доцільності вибраного у ПАТ «АВТРАМАТ» шляху вдосконалення технічного рівня поршнів підтверджуються результатами досліджень багатьох авторів і представляються досить переконливими.

**У другому розділі** описується математична модель для розрахунку малих переміщень поршня, який розглядається як пружне нерівномірно нагріте тіло, що утворює трибоз'єднання з мастильним шаром і циліндром. Головною особливістю моделі є використання для опису мастильного шару стаціонарних рівнянь Нав'є-Стокса, що дозволило за допомогою систем лінійних алгебраїчних рівнянь фактично встановити кінематичний зв'язок між полями тисків та дотичних напружень

мастила і параметрами руху бічної поверхні поршня. Відмова від врахування стисливості і інерційності мастила спростила розрахунок, але обмежила область застосування розробленої моделі режимами рідинного тертя. Треба визнати, що і без цих факторів математична модель, яка враховує квазістаціонарні пружні і термічні деформації поршня, а також швидкості перетікання в'язкої рідини в зазорі між поршнем і циліндром, є досить глибокою і достатньою для адекватного опису динаміки малих переміщень рухомого поршня ДВЗ. Проте (і це є недоліком математичної моделі), поблизу точок зупинки поршня замість рівнянь Нав'є-Стокса доцільно використовувати рівняння Рейнольдса, і тому, у подальшому розвитку запропонованої моделі, на цих ділянках зв'язок між мастилом і поршнем прийдеться змінювати з кінематичного на більш складний – динамічний.

**У третьому розділі** описано вдосконалену конструкцію датчиків вихорострумового типу, призначених для безконтактного визначення зазору між бічними поверхнями поршня і циліндра. Розроблено схему розташування цих датчиків, що забезпечує ідентифікацію малих лінійних і кутових переміщень поршня в зазорі для всього діапазону робочих ходів. Досліджено похибки вимірювань зазору, при використанні критерію Пірсона доведено, що розподіл цих похибок підпорядковується нормальному закону. Розроблено методи тарировки і термокомпенсації.

Запропоновано і перевірено на практиці схеми препарування існуючого моторного стенда для установки нових датчиків. На думку опонента, можливості для проведення експериментальних досліджень, що надаються цим стендом, дозволять істотно підвищити технічний рівень нових конструкцій поршнів.

Для очищення сигналу від поміх використано математичний фільтр Баттерворта 5-го порядку; параметри фільтра налаштовано на частоти пропускання і затримання 60 Гц і 100 Гц, відповідно.

**Розділ 4** розпочинається з порівняння графіків для розрахункового та експериментального визначення малих переміщень (бічного зсуву і повороту) поршня при його роботі на 5-ти основних швидкісних і навантажувальних режимах двигуна ВАЗ 21083. Задовільна якісна і кількісна близькість результатів дозволила здобувачеві використати розроблену математичну модель при розрахунку та аналізі нового профілю бічної поверхні поршня цього двигуна. Доцільність коригування форми профілю витікала із істотного уточнення значень деформацій і напружень, діючих в нижній частині поршня. При аналізі результатів профілювання здобувач сформулював і використав новий критерій, розроблений ним для кількісної оцінки якості режиму рідинного тертя – модифіковане число Зоммерфельда.

**У додатках** дисертації містяться допоміжні графічні і табличні матеріали, а також акт про реалізацію результатів дисертаційної роботи, який підтверджує її практичну цінність і авторський вклад дисертанта в тому обсязі, що зазначений в основному тексті дисертації.

### **Зауваження.**

**1.** Однорідні крайові умови (2.5), (2.6) не витікають із постановки задачі апроксимації бічного профілю поршня сплайнами, і їх потрібно пояснювати окремо. До того ж, у поперечному напрямку вони замінюються умовами періодичності сплайну. В більш загальній постановці задачі бічну поверхню поршня доцільно

апроксимувати не одновимірними, а двовимірними сплайнами (вайвлетами).

2. У розд.2.3 приймається припущення про те, що течія мастильного шару є ламінарною. Далі, за результатами розрахунків можна було визначити числа Рейнольдса і підтвердити це припущення. У дисертації цього не зроблено.

Там же прийнято й інше припущення, що температура мастильного шару визначається за результатами експериментальних досліджень. Проте, з огляду на теплову інерцію використаних датчиків температури (де стала часу не менша 0.75 секунди) це означає інше – в процесі руху поршня температуру мастила прийнято незмінною, що є спрощенням реальності.

3. У тексті розд.2.5 не пояснено, навіщо дисертанту знадобилися рідко використовувані на практиці несиметричні формули диференціювання, а також ітераційний алгоритм для інтегрування системи 6-го порядку, складеної зі звичайних диференціальних рівнянь. Відомо багато інших перевірених методів розв'язання подібних задач. До того ж, змінні величини  $u_i$ , які використовуються в цьому алгоритмі, мають різну фізичну розмірність, і як розуміти умову закінчення ітерацій – неясно. Пояснення до цієї умови в тексті дисертації, а також, більш скорочене, у авторефераті, змішують поняття абсолютної і відносної похибки результату.

4. Використаний в дисертації математичний фільтр Баттерворта не дозволяє вибірково усувати з сигналу мережеві наведення, від яких варто було б позбутися при підготовці експерименту. Гранична частота пропускання 60 Гц обрана правильно для обертів холостого ходу, проте її (за умови додаткового фільтрування наведень) доцільно збільшувати пропорційно частоті обертів вала двигуна. На амплітудно-частотній характеристиці (рис.3.23) виділяються основна частота і кілька кратних частот, тому аналізований сигнал вихростумового датчика є майже періодичним, і замість перетворення Фур'є доцільно використовувати ряд Фур'є.

5. На рис.4.1 – 4.5 розрахункові графіки лінійних та кутових зміщень поршня поблизу внутрішньої та зовнішньої мертвої точки розриваються на окремі відрізки, що ускладнює проведення цілісного аналізу точності використаної математичної моделі і якості алгоритмів розрахунку.

Виявлені при рецензуванні недоліки і викладені у відгуку зауваження не змінили загальної позитивної оцінки даної дисертаційної роботи.

## Висновок

Дисертаційна робота Москаленко Івана Миколайовича «Удосконалення методів профілювання бічної поверхні поршнів двигунів внутрішнього згоряння» за своїм змістом відповідає паспорту спеціальності 05.05.03 – двигуни та енергетичні установки. Вона є завершеною науково-дослідною роботою, в якій отримані суттєві результати, що відзначаються науковою новизною і практичною цінністю та забезпечують у сукупності розв'язання важливої задачі з підвищення технічного рівня ДВЗ за рахунок удосконалення методів проектування форми бічної поверхні поршнів при комплексному врахуванні процесів, які відбуваються в трибоз'єднанні «поршень – мастильний шар – циліндр», а також шляхом розробки сучасної експериментальної бази для практичної реалізації цих методів.

Дисертаційна робота відповідає вимогам п.п.9,11,12 "Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника", затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 № 567, які пред'являються до кандидатських дисертацій. А її автор Москаленко Іван Миколайович заслуговує присудження йому наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.03 – двигуни та енергетичні установки.

Офіційний опонент

професор кафедри вищої математики  
Національного технічного університету  
«Харківський політехнічний інститут»,  
доктор технічних наук, професор

Григор'єв О.Л.

03.06.2016 р.

Підпис д.т.н., проф. Григор'єва О.Л. завіряю:

вчений секретар ІІТУ «ХПІ»



Ю.І. Зайцев