

## ВІДГУК

офіційного опонента, доктора технічних наук, професора Клименка Леоніда Павловича, на дисертаційну роботу Кравченка Сергія Олександровича «Забезпечення ресурсу ДВЗ шляхом застосування дискретно-континуального зміцнення робочих поверхонь», що подана до захисту на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.05.03 – двигуни та енергетичні установки.

**Актуальність запропонованої теми.** Розвиток удосконалених методів розрахунку техніко-економічних характеристик ДВЗ, тим більше з новими конструктивними і технологічними рішеннями завжди буде актуальною проблемою. Зокрема, актуальність теми, поданої на захист дисертації Кравченка С. О. підтверджується тим, що однією з основних задач двигунобудування є вирішення проблеми збільшення довговічності роботи і ресурсу ДВЗ, що обумовлюється значною мірою ресурсом високонавантажених пар тертя. Відмови деталей транспортної техніки за нормальних умов експлуатації відбуваються внаслідок різних видів корозії, ерозії, кавітації, старіння матеріалу тощо. Водночас практика експлуатації машин свідчить про те, що в багатьох випадках деталі виходять із ладу внаслідок відмов вузлів тертя в результаті зношування робочих поверхонь або поломок, викликаних їхнім спрацюванням.

Дисертація Кравченка С. О. саме і присвячена вдосконаленню наявних та розробці нових енергозберігаючих технологій зміцнення, спроможних зменшити термін виготовлення деталей, суттєво підвищити їхній ресурс та знизити енергетичні витрати. З огляду на це, ще раз можна наголосити, що обрана тема дослідження та отримані здобувачем результати є актуальними.

**Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації та достовірність результатів досліджень.** Можна погодитися із формулюванням у

дисертації щодо того, що наукові положення, висновки за результатами проведеного дослідження та рекомендації щодо застосування і практичного використання є достатньо обґрунтованими, їхня достовірність підтверджена з прийнятною точністю в ході проведення лабораторних, стендових експериментів, а також широкою апробацією в опублікованих наукових працях і доповідях на конференціях різних рівнів.

**Наукова новизна отриманих результатів.** Дисертаційна робота присвячена вирішенню актуальної науково-технічної проблеми двигунобудування, що пов'язана з підвищенням надійності, ресурсу роботи та трибомеханічних характеристик ДВЗ при їхній розробці, модернізації та форсуванні. При цьому отримано наступні нові наукові результати:

1. Вперше розроблено методологію створення нових та підвищення якості наявних технологій зміцнення пар тертя деталей ДВЗ, які мають велике термомеханічне навантаження, що включає:

- розвинену та адаптовану для деталей ДВЗ концепцію узагальненого параметричного моделювання складних механічних систем, методи аналізу фізико-механічних процесів і синтезу конструктивних параметрів та нових технологій зміцнення, яка сформована, на відміну від традиційних, при нечітких множинних критеріях, параметрах множини обмежень і умов експлуатації;
- метод розрахунково-експериментального обґрунтування параметрів зон дискретного зміцнення високонавантажених поверхонь чавунних і сталевих деталей ДВЗ, який, на розвиток відомих підходів, спирається на використання не окремих, а сукупного комплексу результатів лабораторних досліджень мікроструктури металу, мікротвердості, жорсткості, трибомеханічних параметрів і втомної міцності, а також натурних експериментальних досліджень ДВЗ;
- нову структуру побудови комплексу багатоваріантних комп'ютерних досліджень напружено-деформованого стану дискретно та континуально зміцнених деталей ДВЗ із застосуванням

запропонованих математичних моделей й оптимізації отриманих параметрів, які, на відміну від відомих, цілеспрямовано підготовлено для чисельних досліджень при варіативному моделюванні.

2. Вперше виявлено фізичні ефекти, які приводять до поліпшення технічних характеристик ДВЗ, а саме:

- синергетичний ефект від застосування комбінованих методів зміцнення деталей ДВЗ, що перевершує сумарний ефект від застосування окремо дискретного зміцнення та мікродугового оксидування;
- « $\Delta$ -ефект», що характеризує перерозподіл навантаження між зонами зміцнення та основним металом деталей ДВЗ;
- « $\sigma$ -ефект», який полягає в тому, що при сумісному деформуванні розплавленого матеріалу ДЗЗ під час застигання створюється залишковий напружений стан, який при суперпозиції з напруженим станом від дії тиску дає ефект зменшення рівня результуючих напружень;
- ефект стабілізації у послідовності процесів «контактна взаємодія-тертя-зношування» при застосування розроблених методів зміцнення за рахунок позитивного взаємного впливу окремих складових, на відміну від традиційних методів, під час використання яких спостерігається їхній прогресуючий негативний взаємний вплив.

3. Вперше запропоновано і обґрунтовано новий комплексний метод модифікації поверхонь тертя високо навантажених пар тертя деталей двигунів, одна з яких зміцнюється методом дискретного зміцнення, інша – зміцнюється методом мікродугового оксидування.

**Значення отриманих результатів для науки й практичного використання.** Розроблені підходи, концепція, методи та моделі є методологічною базою для вирішення практичних проблем при створенні, модернізації та форсуванні сучасних ДВЗ із підвищеними технічними характеристиками надійності, ресурсу роботи та трибомеханічних характеристик. Створені на основі дисертаційних розробок чисельні моделі оцінки НДС деталі можуть бути адаптовані

до аналізу та поліпшення характеристик деталей пар тертя двигунів різноманітного призначення.

За рахунок впровадження у виробництво науково-технічних рішень суттєво підвищено якість розрахунків та виготовлення колінчастих валів високофорсованих ДВЗ, знижено термін зміцнення робочих поверхонь під час виготовлення деталей, зменшено навантаження на навколишнє середовище.

**Повнота викладу результатів дослідження в опублікованих працях.** Основні результати дисертації відображено в 39 публікаціях з яких: 1 монографія (у співавторстві), 17 статей – у наукових фахових виданнях України (7 у виданнях включених до міжнародних науково-метричних баз), 1 стаття – у закордонному періодичному фаховому виданні), 2 патенти України, 8 – деклараційних патентів України, 10 – у матеріалах конференцій.

**Обсяг та структура дисертації.** Дисертаційна робота складається зі вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел із 261 позиції, містить 35 таблиць, 98 рисунків і додатки. Загальний обсяг роботи становить 316 сторінок.

**У вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовано мету та завдання дослідження, окреслено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, а також наведено інформацію про апробацію результатів теоретичних і експериментальних досліджень та публікації, що містять основні положення роботи.

**У першому розділі** на основі ретельно проведеного аналізу сучасного стану проблеми визначено напрямки дисертаційних досліджень.

Другий розділ дисертації присвячено моделюванню фізико-механічних процесів зміцнених поверхонь деталей ДВЗ.

**У третьому розділі** описано результати комп'ютерного моделювання напружено-деформованого стану тертя і зношування зміцнених поверхонь деталей ДВЗ.

**Четвертий розділ** містить опис фізико-хімічної сутності процесу дискретного зміцнення, технологічного обладнання та механічних властивостей зміцнених поверхонь деталей ДВЗ.

**У п'ятому розділі** викладено обґрунтування конструкторсько-технологічних рішень зміцнення деталей ДВЗ за результатами фізичного і комп'ютерного моделювання та підготовку експерименту на машинах тертя.

**В шостому розділі** викладено результати стендових експериментальних досліджень ДВЗ з використанням у парах тертя комбінованих технологій зміцнення робочих поверхонь.

**Загальні висновки і рекомендації**, які містяться в дисертації, відображають результати проведеного дослідження, є конкретними і корисними для практичних розрахунків і проектування елементів ДВЗ.

Оцінюючи дисертаційну роботу Кравченка С. О. в цілому, вважаю, що вона має цілісний і завершений характер, вирішує важливу науково-прикладну проблему науки і двигунобудування.

Стиль викладу матеріалу – логічний, легкий для сприйняття. Рукопис містить достатньо ілюстрацій. Терміни, що використані, у деяких випадках, є загальноприйнятними.

**Автореферат дисертації** досить повно відображає основні положення виконаної роботи і дає достатню уяву про ступінь новизни та практичне значення отриманих результатів.

#### **Зауваження до дисертаційної роботи**

1. У першому розділі роботи занадто деталізовано опис технологічних аспектів у розрізі методів зміцнення елементів ДВЗ. Вважаю, що можна було б у деяких випадках обмежитись посиланням на відповідні літературні джерела.

2. В основних розділах дисертації чільне місце займають чисельні дослідження за допомогою методу скінченних елементів. Разом із тим слід було би більше уваги приділити чисельним методам розрахунків у оглядовій частині роботи.

3. У дисертації основна увага приділена новим технологіям зміцнення елементів ДВЗ. Але було б корисним показати, якою мірою отримані результати і рекомендації переважають існуючі, причому на конкретних прикладах і з конкретними чисельними даними.

4. У третьому розділі (п. 3.3) значна увага приділена опису спеціалізованої бази даних за результатами багатофакторних досліджень напружено-деформованого стану, тертя і зношування зміцнених поверхонь деталей ДВЗ. Разом із тим ця база не проілюстрована конкретним наповненням. Це було би достатньо показовим з точки зору ілюстрації результативності роботи.

5. У висновках (п. 5 стор. 227) сформульовано, що «На основі теоретичних та експериментальних досліджень виявлено, досліджено та підтверджено « $\Delta$ -ефект», що характеризує перерозподіл навантаження між зонами зміцнення та основним металом деталей ДВЗ. Його присутність на зміцнених поверхнях дало змогу підвищити ресурс експлуатації колінчастих валів ДВЗ у 1,5–3 рази». Там же (п. 6 стор. 227) зазначено: «Виявлено розрахунковим шляхом та інтегрально підтверджено при виконанні експериментальних робіт на лабораторних машинах тертя « $\sigma$ -ефект», який полягає в тому, що при сумісному деформуванні розплавленого матеріалу ДЗЗ при застиганні створюється залишковий напружений стан, який при суперпозиції з напруженим станом від дії тиску дає ефект зменшення рівня результуючих напружень, а це дає, у свою чергу, нові додаткові можливості при розробці нових пар тертя». У цілому аргументація здобувача зрозуміла, проте було би краще навести й чисельні дані, що ілюструють логіку прийняття рішень та міру ефективності кожного із ефектів та їх сумісної дії.

6. У тексті дисертації та авторефераті мають місце не зовсім вдалі вирази, нечіткі формулювання та описки (наприклад, на стор. 7, вжито термін «дискретно-континуальне зміцнення» замість «дискретно-континуальне зміцнення» тощо).

Зазначені зауваження не мають вирішального значення і не зменшують наукового рівня виконаного дослідження та практичної цінності результатів роботи. Вони мають здебільшого рекомендаційний характер і спрямовані на доповнення змісту дисертації та її поліпшення. Крім того, ці аспекти можуть стати підґрунтям для дискусійного обговорення на засіданні спеціалізованої вченої ради.

**Загальний висновок.** Дисертація Кравченка С. О. є завершеною науково-дослідною роботою, у якій розв'язана важлива науково-прикладна проблема зі зміцнення деталей ДВЗ.

Дисертація відповідає паспорту спеціальності 05.05.03 – двигуни та енергетичні установки.

Дисертаційна робота виконана на належному науковому рівні, відповідає сучасним вимогам, що ставляться до докторських дисертацій, та п.п. 9, 10, 12 «Порядку присудження наукових ступенів» щодо докторських дисертацій, а здобувач Кравченко Сергій Олександрович продемонстрував високу кваліфікацію дослідника, володіння широким спектром інструментарію вченого та глибокі професійні знання, що дає підстави для висновку про те, що він заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук.

Офіційний опонент,  
ректор Чорноморського національного  
університету ім. Петра Могили  
доктор технічних наук, професор



Л. П. Клименко