

## Відгук

### офіційного опонента

доктора технічних наук, професора, завідувача кафедри машинобудування

**Власовця Віталія Михайловича**

на дисертаційну роботу **Пирогова Віктора Олександровича**

«Підвищення довговічності насосних агрегатів для зрошення комбінованими

екологічно безпечними технологічними методами»,

подану на здобуття ступеня доктора філософії

з галузі знань 13 - Механічна інженерія

за спеціальністю 133 – галузеве машинобудування

#### **1. Актуальність теми дисертаційної роботи.**

Насосні агрегати є ключовим та одним з найбільш відповідальних елементів сучасних систем зрошування. Зміна клімату, збільшена відстань до водозабору висуває підвищені вимоги до їх експлуатаційної стійкості та підвищує навантаження в експлуатації. На сьогоднішній день в Україні практично відсутні приклади ефективної експлуатації насосних агрегатів з дистанційним моніторингом їх технічного стану та відповідним попереджувальним технічним обслуговуванням, прогнозування залишкового ресурсу на підставі інтегральних показників вібрації та шуму. Це призводить до необхідності підвищення довговічності роботи основних деталей нанесенням зносостійких покриттів для забезпечення ефективної роботи насосного агрегату в цілому. Тому розробка нових способів поліпшення якості робочого шару деталей насосних агрегатів є актуальною та важливою науково-технічною задачею.

Традиційні високотемпературні технології нанесення покриттів через значне тепловкладення формують суттєві температурні градієнти, які в свою чергу збільшують зону термічного впливу, зменшують коефіцієнти запасу міцності через виникнення крихких структурних складових біля концентраторів напружень та формують високий їх залишковий рівень. Використання висококонцентрованих джерел енергії (переважно плазмового, лазерного) зменшує такий негативний вплив, але не є економічно обґрунтованим при незначних обсягах реновації деталей. Газотермічні методи формують покриття з розгалуженою системою пор, та не можуть ефективно бути використані при наявності абразивних часток, адже сприяють швидкому спрацюванню необроблених деталей. З іншого боку, метод електроіскрового легування дозволяє використовувати широкий спектр легуючих та модифікуючих добавок, а в поєднанні з поверхневою пластичною деформацією – формувати заданий градієнт структур з переважно напруженнями стискання в поверхневому шарі.

Дисертаційна робота Пирогова В.О. присвячена вирішенню наукових та технологічних аспектів розробки інноваційних, короткотривалих, енергоощадних та екологічно безпечних технологій поверхневого зміцнення та ремонту деталей насосних агрегатів, задіяних в системах зрошення, її тему слід визнати актуальною і такою, що має важливе наукове та практичне значення.

## **2. Зв'язок роботи з науковими програмами, темами, планами.**

Дисертаційна робота Пирогова В.О. відповідає стратегічним пріоритетним напрямкам інноваційної діяльності (Закон України «Про пріоритетні напрями інноваційної діяльності в Україні», редакція від 12.01.2023р., №2859-ІХ), виконана відповідно до плану держбюджетних науково-дослідних робіт МОН України «Дослідження ресурсозберігаючих технологій формування функціональних покриттів робочих поверхонь деталей машин» (НДР №0118U100099), «Наукова методика забезпечення збереження властивостей робочих поверхонь деталей енергоефективними екологічно чистими методами» (№ 0116U002756), а також госпдоговору № 1-9-2 з науково-виробничим підприємством «ТРИЗ ЛТД» на тему «Підвищення параметрів якості поверхневих шарів відповідальних деталей роторних машин», які виконувались в Сумському національному аграрному університеті 2016-2023рр., у якій дисертант брав участь в якості виконавця.

## **3. Наукова новизна одержаних результатів.**

Здобувачем вирішена важлива наукова задача підвищення довговічності насосних агрегатів, що використовують в зрошувальному землеробстві, шляхом удосконалення технології виготовлення та відновлення їх деталей, за рахунок використання ефективних та екологічно безпечних технологій формування захисних покриттів та модернізації приводу і з'єднувальної муфти. Дисертантом отримані результати, які мають наукову новизну. Серед них слід відзначити наступні:

1. Вперше на підставі встановлених залежностей між роботою тертя та зносом поверхневих шарів бабітових покриттів, сформованих різними способами на вкладишах підшипників ковзання, фізично обґрунтовано функціональні зв'язки між основними параметрами процесу зносу (рівняння зносу), що дозволяє по роботі тертя визначати лінійний та ваговий знос бабітового покриття, а також вирішувати зворотню задачу, що дозволяє знайти величину роботи тертя, необхідну для здійснення зносу певної кількості речовини або для отримання необхідного лінійного зносу.

2. Вперше для різних матеріалів пар тертя (бабітовий вкладиш – шийка підшипників ковзання) обґрунтовано розроблену методику визначення констант рівняння зносу: найбільшого вагового та лінійного зносу, а також енергію

активації процесу зношування, які можуть бути критеріями вибору найбільш раціональної технології підвищення довговічності підшипників ковзання.

3. Вперше обґрунтовано розроблений і апробований новий спосіб цементації методом ЕІЛ сталейних поверхонь при якому легування вуглецем відбувається компактним електродом-інструментом з графіту та графітовим порошком, що дозволяє в порівнянні з аналогами зменшити шорсткість поверхні з  $R_a = 8,3-9,0$  до  $3,2-4,8$  мкм; збільшити суцільність легованого шару з 80 до 100%; мікротвердість «білого» шару і його товщину, відповідно з 8492 до 10796 МПа і з 60 до 230 мкм.

4. Вперше встановлені взаємозв'язки між параметрами обладнання електроіскрового легування та параметрами якості поверхневих шарів деталей, що дозволило на сталюю поверхню наносити методом ЕІЛ сульфомолібденове покриття, яке у своєму складі містить до 5% дисульфиду молібдену ( $MoS_2$ ), що є сухою змащувальною речовиною і наявність якого в поверхневому шарі підтверджено рентгеноструктурним аналізом.

#### **4. Наукове та практичне значення.**

Автором отримані наукові результати, що полягають у встановленні нових закономірностей формування покриттів методом електроіскрового легування що дозволило розробити нові способи їх нанесення.

Автором удосконалена технологія забезпечення необхідних параметрів якості підшипникових і посадкових шийок валів застосуванням комплексного впливу (патенти України на корисну модель № 142822 і 144932), розроблено новий спосіб зміцнення шийок шляхом нанесення покриттів системи AL-C-B (патенти України на корисну модель № 148495, 141919 і 141920), удосконалені технології захисту пружних муфт (патенти України на корисну модель №151426 і 142811). Впровадження у виробництво запропонованих технологій дозволить отримати економічний ефект у розмірі 856 тис.грн.

#### **5. Повнота викладення матеріалу дисертації у наукових публікаціях.**

Основні наукові результати, викладені в дисертації, у достатній мірі висвітлені у 24 працях, у тому числі: 7 статей у фахових виданнях України, 3 статті в наукових виданнях, що входять до міжнародних науково-метричних баз даних; 11 патентів. Публікації відповідають встановленим вимогам та в повній мірі відображають основні положення дисертації. Наукові результати пройшли апробацію на 7 міжнародних конференціях.

#### **6. Ступінь обґрунтованості наукових положень.**

Основні положення і висновки дисертаційної роботи є результатом узагальнення дисертантом теоретичного й експериментального матеріалу,

базуються на сучасних положеннях машинобудування та не суперечать прийнятим науковим підходам.

Достовірність результатів висновків дисертації забезпечується застосуванням різноманітних сучасних методик дослідження, включаючи високотехнологічні методи електронної мікроскопії, рентгенографічного аналізу, металографії та оцінки шорсткості профілографом-профілометром. Обґрунтованість висновків підтверджуються узгодженням теоретичних положень і висновків дисертації з результатами експериментальних досліджень, а також з результатами дослідно-промислового випробування та рекомендацій щодо впровадження у виробництво запропонованих технологічних рішень.

#### **7. Структура та зміст дисертації, її завершеність та відповідність встановленим вимогам щодо оформлення.**

Робота складається з анотації, вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків, викладена на 206 сторінках машинописного тексту. Основний зміст роботи викладено на 128 стор., включаючи 52 рисунків та 30 таблиць. Список використаних джерел складається з 145 найменувань на 17 сторінках.

У вступі обґрунтовано вибір теми дисертації та наукових завдань, сформульовано мету та завдання дослідження, визначено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, а також подано відомості про апробацію, структуру та обсяг роботи.

У першому розділі розглянуто поточний стан наукових досліджень за обраним напрямом, проаналізовано основні машини системи зрошувального землеробства України, умови їх експлуатації та основні види зношування, методи виготовлення, нанесення покриттів. Обґрунтовано мету та сформульовано завдання досліджень.

У другому розділі обґрунтовано використання математичної моделі процесу зносу (рівняння зносу), яка дозволила вирішувати як пряму задачу – визначати ваговий та лінійний знос за відомою роботою тертя, так і зворотну – знаходити необхідну роботу тертя для отримання того чи іншого зносу, встановлено критерії вибору найбільш раціональної технології нанесення покриттів.

У третьому розділі проаналізовано вплив різних технологій (електроіскрове легування, обробка кулькою, безабразивна ультразвукова фінішна обробка) на якість поверхонь деталей, виконано оцінку стійкості шийок валів.

У четвертому розділі запропоновано ряд нових технологій покращення якості поверхневих шарів деталей, зокрема запропонований новий спосіб сульфомолібденування методом електроіскрового легування.

У п'ятому розділі узагальнено наукові висновки та надано рекомендації по використанню запропонованої технології у виробництво.

#### **8. Дискусійні положення та зауваження до дисертації.**

Поряд із загальною позитивною оцінкою дисертаційної роботи при вивченні її змісту виникли наступні зауваження:

1. Автор стверджує, що при пропонованій обробці мікротвердість «білого» шару збільшується відповідно з 8492 до 10796 МПа, а його товщина з 60 до 230 мкм. Чим визваний ефект, який спостерігає автор роботи при заміні сталі 20 на сталь 40Х і 30Х13, коли мікротвердість «білого» шару і його товщина збільшується, відповідно до 11823 і 10991 МПа та 240 і 240 мкм. Чим викликана складність травлення такого шару - структурно-фазовим складом чи внутрішніми напруженнями?

2. Автором роботи проаналізовано широкий спектр сталей, на які наносились покриття - 20, 40, 30Х13, 40Х і 12Х18Н10Т, які мають різну обробку та, відповідно, структурно-фазовий стан робочого шару. Потребує додаткового пояснення чи потребують запропоновані автором технології коригування режимів у відповідності з похідним структурно-фазовим станом деталі?

4. В роботі на рисунку 1.6 - Руйнування бабітового шару вкладишів ПК є сліди характерні для експлуатації при підвищеній температурі та високих питомих навантаженнях. Чи мають пропоновані покриття достатню стійкість до роботи в таких умовах?

5. При аналізі отриманих експериментальних даних не завжди наведена оцінка їхньої статистичної надійності. Не зовсім коректно викладено підписи під графічним матеріалом, зокрема металографічними зображеннями, які в ряді випадків не містять масштабу, що може утруднити інтерпретацію фазових та структурних складових.

В цілому, висловлені зауваження не носять визначального характеру, а тому не знижують загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи.

#### **9. Загальний висновок**

Дисертаційна робота Пирогова Віктора Олександровича «Підвищення довговічності насосних агрегатів для зрошення комбінованими екологічно безпечними технологічними методами», яка подана до захисту у спеціалізовану вчену раду на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 13 - механічна інженерія за спеціальністю 133 – галузеве машинобудування за своїми актуальністю, науково-теоретичним

рівнем, основними результатами обґрунтованості, основними положеннями і результатами опублікованими у фахових виданнях, новизна постановки та практичним значення відповідає вимогам МОН України (Наказ № 40 від 12 січня 2017 р.) «Про затвердження вимог до оформлення дисертації» та Постанові Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44 «Про затвердження Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» із змінами, внесеними згідно з Постановою КМ № 341 від 21.03.2022

Офіційний опонент:

доктор технічних наук, професор,  
завідувач кафедри машинобудування  
Львівського національного університету  
природокористування

Віталій Власовець

