

Відгук

офіційного опонента

доктора технічних наук, професора,
професора кафедри оптимізації технологічних систем
Державного біотехнологічного університету

Мельника Віктора Івановича

на дисертаційну роботу **Пирогова В.О.**

**«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.

Наразі стан меліоративного землеробства, особливо в південних регіонах України, за рівнем використання наявних потужностей інженерної інфраструктури зрошення оцінюється як кризовий, з подальшою загрозою погіршення. Як наслідок російської агресії відбувається прогресуюче погіршення технічного стану міжгосподарської мережі та створюється реальна загроза її руйнації. Через дефіцит коштів держава не в змозі забезпечити достатній рівень фінансування для модернізації головних насосних станцій; заміну насосно-силового обладнання на станціях підкачки та будівництво акумулюючих ємностей як внутрішньогосподарських зрошувальних систем, так і міжгосподарських мережах.

Аналіз оснащення внутрішніх та міжгосподарських систем зрошувального землеробства, задіяного в зрошенні, показав, що основним устаткуванням, яке визначає ефективність його роботи, є насосні агрегати (НА). Основними складовими НА є: електродвигун, з'єднувальні муфти та відцентрові насоси, поверхні деталей яких піддаються впливу негативних оточуючих середовищ, а також підлягають різним видам зносу: абразивному, кавітаційному, фреттинг-корозії та іншим.

Аналіз технологій виготовлення та відновлення НА показав, що серед них є такі, що надають шкідливий вплив на оточуюче середовище і можуть

бути небезпечними для людей. Це, як правило, технології пов'язані з покращенням параметрів якості поверхневих шарів деталей: зварювання, наплавлення, плазмове напилення, ХТО (цементация, азотування, нітроцементация) та інші. Ці технології крім того що є екологічно небезпечними, характеризуються і низкою недоліків: вони складні, довготривалі, енергоємні, дорогі, часто потребують додаткових впливів інших технологій для покращення якості деталей. Наприклад, після зварювання і наплавлення, з метою усунення негативних залишкових напружень, що розтягують, потрібно проводити відпал властивостей; після ХТО, з метою виправлення поводок і короблень, використовують виправлення під пресом, проточування, шліфування і таке інше.

Слід відмітити, що насьогодні при виконанні ремонтів обладнання сільського господарства все частіше використовують технології електроіскрового легування (ЕІЛ), нанесення металополімерних матеріалів (МППМ), а також методи поверхневого пластичного деформування (ППД), до як слід віднести найбільш поширені: безабразивну ультразвукову фінішну обробку (БУФО) і обкатку кулькою (ОК) які мають низку переваг перед традиційними і є екологічно безпечними.

Слід підкреслити, що удосконалення технології створення і реновації відповідальних деталей НА екологічно безпечними методами, є актуальними і своєчасними, та мають велике значення для розвитку економіки України.

2. Зв'язок роботи з науковими програми, темами, планами.

Дисертація виконана на кафедрі технічного сервісу Сумського національного аграрного університету (СНАУ) згідно з планом держбюджетної науково-дослідної роботи Міністерства освіти і науки України «Дослідження ресурсозберігаючих технологій формування функціональних покриттів робочих поверхонь деталей машин» (НДР № 0118U100099) та «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», де здобувач був виконавцем окремих розділів.

3. Наукова новизна одержаних результаті.

1. Вперше науково обґрунтовано та узгоджено параметри розробленої системи спрямованого вибору найбільш ефективних, екологічно та техногенно безпечних технологій підвищення якості поверхневих шарів деталей, при виготовленні насосних агрегатів (НА).

2. Вперше на підставі встановлених кореляційних залежностей між роботою тертя та зносом поверхневих шарів бабітових покриттів, сформованих різними способами на вкладишах підшипників ковзання (ПК), 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 зворотну задачу, що дозволяє знайти величину роботи тертя, необхідну для здійснення зносу певної кількості речовини або для отримання необхідного лінійного зносу.

3. Вперше для різних матеріалів пар тертя (бабітовий вкладиш - шийка ПК) обґрунтовано розроблену методику визначення констант рівняння зносу: найбільшого вагового та лінійного зносу, відповідно (Δm_{\max}) та (Δh_{\max}), а також енергію активації процесу зношування E_A , які можуть бути критеріями вибору найбільш раціональної технології підвищення довговічності ПК.

4. 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 (патент України на корисну модель № 142822).

5. Вперше встановлені взаємозв'язки між параметрами обладнання ЕІЛ та параметрами якості поверхневих шарів деталей, що дозволило на сталюю поверхню нанести методом ЕІЛ сульфомолібденове покриття, яке в своєму складі містить до 5% дисульфиду молібдену (MoS_2), який є сухою змащувальною речовиною і наявність якого в поверхневому шарі встановлено рентгеноструктурним аналізом (*патент України на корисну модель №144932*).

4. Наукове та практичне значення.

Практичне значення одержаних результатів полягає в розробці ряду технологічних рекомендацій виготовлення, реновації і модернізації деталей і вузлів НА, задіяних в системах зрошувального землеробства, використання яких дозволить збільшити їх надійність та довговічність. Отриманні в роботі технологічні рішення, захищені 11 патентами і впроваджені на Комунальному підприємстві «Міськводоканал» Сумської міської ради; ПАТ «Сумхімпром» та ТОВ «ТРИЗ ЛТД», м. Суми з загальним очікуваним економічним ефектом 856000 (вісімсот п'ятдесят шість тисяч) гривен.

Розробки, які виконані в дисертаційній роботі, впроваджені в навчальний процес кафедри технічного сервісу Сумського національного аграрного університету і використовуються при викладанні дисциплін «Матеріалознавство і ТКМ», «Технологія машинобудування в галузі» і «Триботехнологія, а також кафедри комп'ютерної механіки імені Володимира Марцинковського Сумського державного університету і використовуються при викладанні дисциплін «Трибомеханіка та основи контактної механіки» і «Конструкції та розрахунок підшипників ковзання» для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка» (освітня програма «Комп'ютерний інжиніринг в механіці»).

5. Повнота викладення матеріалу дисертації у наукових публікаціях.

За результатами досліджень опубліковано 24 наукові праці, з них: 7 статей у фахових виданнях України, 6 конференції, 11 патенти; 3 статті – в зарубіжних виданнях, що є в науково-метричному виданні Scopus або WOS.

Наведений у публікаціях матеріал повною мірою відображає основні результати та обґрунтовує наукові положення дисертаційної роботи.

6. Ступінь обґрунтованості наукових положень.

Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертаційній роботі, базується на аналізі великої кількості літературних джерел за даною проблемою, чіткій постановці мети і задач дослідження, використанні сучасних методів досліджень, математичної обробки результатів і їх критичному аналізі, ґрунтовному формулюванні отриманих висновків.

Достовірність результатів підтверджується використанням сучасної вимірювальної техніки та відтворюваністю експериментальних даних.

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 184 сторінках машинописного тексту. Основний зміст роботи викладено на 123 стор., включаючи 52 рисунків та 30 таблиць. Список використаних джерел складається з 197 найменувань на 23 сторінках.

У **вступі** обґрунтований вибір теми дисертації та наукових завдань, сформульовані мета й завдання дослідження, визначені наукова новизна й практичне значення одержаних результатів, а також наведена інформація про апробацію, структуру та обсяг роботи.

У **першому розділі**, на підставі аналізу будови машин системи зрошувального землеробства України, задіяних в різних способах введення води в ґрунт, показав, що найбільш важливими і відповідальними для забезпечення якісного зрошування є НА, складовими частинами яких є електродвигуни, муфти і відцентрові насоси.

Указано, що всі вузли і деталі НА працюють в важких умовах абразивного, корозійного та інших видів зносу. Методи виготовлення і ремонту деталей є екологічно небезпечними, а окремі вузли, потребують модернізації. Все це дозволило сформулювати мету й завдання для проведення досліджень.

У другому розділі з метою підвищення надійності і довговічності НА розроблено систему спрямованого вибору екологічно безпечної та найбільш раціональної технології підвищення якості поверхонь їх деталей. При цьому враховують усі стадії їх життєвого циклу, а також економічні та екологічні вимоги.

На підставі встановленої кореляційної залежності між зносом бабітових покриттів підшипників ковзання (ПК) відцентрових насосів та роботою, затраченою на тертя, запропоновано фізично обґрунтовану математичну модель процесу зносу (рівняння зносу), яка дозволяє 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. Знаючи час досягнення певної величини зносу, з'являється можливість більш раціональної експлуатації виробів, своєчасно призначаючи час ремонту не допускаючи до катастрофічного зносу поверхню тертя. В процесі виконання досліджень розроблено методику визначення констант рівняння зносу: енергії активації (E_A), а також максимального вагового, та лінійного зносу, які можуть бути використані, як критерії вибору найбільш раціональної технології нанесення бабітового покриття.

Третій розділ присвячений методиці експериментальних досліджень впливу різних технологій на якість поверхонь деталей НА, задіяних в системі зрошувального землеробства. Були розглянуті особливості технології ЕІЛ при реновації бабітових покриттів ПК відцентрових насосів НА. Розроблено гаму методів, спрямованих на удосконалення поверхневих шарів деталей НА як при виготовленні так і при реновації. При цьому, переважно використовували комбінації з екологічно безпечних та мало затратних методів: ЕІЛ, обробка

кулькою (ОК), безабразивна ультразвукова фінішна обробка (БУФО), нанесення МПМ.

В четвертому розділі, з метою підвищення надійності і довговічності НА, запропоновано ряд нових технологій покращення якості поверхневих шарів їх деталей. Так, удосконалений метод ЦЕЛ підшипникових шийок валів роторів відцентрових насосів, при якому в сталі 20 зменшується шорсткість поверхні з $Ra = 9,0$ до $3,2$ мкм; збільшуються суцільність легованого шару з 80 до 100%, глибина дифузійної зони вуглецю з 35 до 70 мкм, мікротвердість «білого» шару і його товщина відповідно з 8492 до 10796 МПа і з 60 до 230 мкм. При заміні сталі 20 на сталь 40Х і 30Х13 мікротвердість «білого» шару і його товщина збільшується, відповідно до 11823 і 10991 МПа та 240 і 240 мкм. Запропонований новий спосіб сульфомолібденування методом ЕІЛ шийок валів ПК, використання якого при енергії розряду $W_p = 3,4$ Дж призводить до появи в поверхневому шарі сталі 40 до 30% мартенситної фази, до 6% залишкового аустеніту (ГЦК фази), а також до 5% дисульфиду молібдену. Запропонований новий спосіб формування методом ЕІЛ на посадочних поверхнях валів зносостійких покриттів складу Al-C-B, при нанесенні яких з підвищенням енергії розряду збільшується мікротвердість «білого» шару: при $W_p = 0,13$ Дж - $H_{\mu} = 6487$ МПа, а при $W_p = 4,9$ Дж - 12350 МПа.

В п'ятому розділі розроблені технологічні рекомендації по впровадженню результатів проведених досліджень у виробництво.

8. Дискусійні положення та зауваження до дисертації.

Поряд із загальною позитивною оцінкою дисертаційної роботи необхідно відзначити наявність у ній окремих дискусійних питань та зауважень, які потребують додаткової аргументації:

1. В роботі багато посилань на літературні джерела, датовані минулим сторіччям, особливо в розділі 1. Та майже відсутні посилання на роботи інших авторів за останні 5 років.

2. В списку літератури деякі джерела оформлені не в відповідності до сучасних вимог. Наприклад, 75 – 78, 85, 91, 93 – 95, 99, 100 тощо.
3. В першому розділі відсутній аналіз світового досвіду щодо методів зміцнення та відновлення поверхонь деталей насосних агрегатів.
4. Метою роботи є підвищення довговічності насосних агрегатів, що використовують у зрошувальному землеробстві. Але в дисертації не має аналізу особливостей конструкції та експлуатації такого обладнання.
5. За допомогою рисунків 2.1 та 2.3 автор демонструє метод системного аналізу для всього життєвого циклу насосного агрегату, але в тексті розділу 2.1 аналізується тільки вплив властивостей поверхневих шарів деталей без урахування інших конструктивних і технологічних параметрів. Тому бажано було б зробити більш конкретні ілюстрації для запропонованого методу.
6. В дисертації не наведені дані про техногенне навантаження на довкілля, відсутній розрахунок екологічних ризиків. Тому не зрозуміло, на чому базується висновок про екологічну безпечність розроблених технологій.
7. Патенти України на корисну модель не проходять експертизи на патентну чистоту та новизну. Тому п.4 і п.5 наукової новизни потребують додаткових роз'яснень.
8. В роботі є посилання на не існуючі ГОСТи (стор. 101, 151 тощо)
9. У дисертації не всі одиниці вимірювання виражені в системі СІ.
10. У тексті дисертації відсутнє посилання на Додаток А

9. Загальний висновок

Дисертаційна робота **Пирогова В.О. «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 наказу МОН України № 40 від 12 січня 2017 року «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, професор кафедри
оптимізації технологічних систем
Державного біотехнологічного
університету



Віктор Мельник

04.09.2023 р

Підпис

Мельника В

ЗАСВІДЧУЮ

Керівник відділу діловодства ДБТУ

Г. Яковенко