

## **ВІДГУК**

**офіційного опонента на дисертацію Шіхаба Таера Абдулваххаба Шіхаба на тему «Підвищення довговічності торцевих ущільнень нафтогазопромислових відцентрових насосів», яка подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.12 – «Машини нафтової та газової промисловості»**

### **1. Актуальність теми дисертації**

Підвищення довговічності нафтогазопромислового обладнання є важливим завданням, одним із способів вирішення якого є раціональний підбір матеріалів найбільш відповідальних вузлів із урахуванням напрацювань в області сучасного прикладного матеріалознавства, трибології, механіки контактної взаємодії та комп'ютерного моделювання. Одним із яскравих прикладів таких вузлів є торцеві ущільнення відцентрових насосів що використовуються в нафтогазовій галузі, оскільки вихід їх із ладу призводить до практично повної зупинки технологічних процесів переробки нафтопродуктів, а у деяких випадках, враховуючи специфіку перекачування нафтопродуктів і до виникнення аварійних ситуацій. У свою чергу головною причиною втрати працездатності торцевого ущільнення є зміна геометрії зони контакту ущільнюючих елементів – кілець, яка викликана проходженням процесів зношування та утворенням поверхневих тріщин внаслідок температурних перепадів викликаних тертям. Ефективним шляхом протидії вказаним негативним явищам є пошук матеріалів, які характеризуються високою зносостійкістю, теплопровідністю, хімічною інертністю, а також технологічністю виготовлення. Традиційні керамічні матеріали, зокрема на основі карбіду кремнію відповідають усім наведеним вимогам окрім забезпечення високої стійкості проти термічного розтріскування. Тому у парах тертя кілець торцевих ущільнень постає необхідність комбінування серійних керамічних матеріалів із антифрикційними матеріалами із високою тріщиностійкістю. Прикладами таких матеріалів є метало матричні композити, матриця яких забезпечує стійкість проти зародження та поширення тріщин поряд із антифрикційними властивостями, а наповнювач забезпечує необхідний рівень зносостійкості.

Виходячи з вищенаведеного дисертаційна робота Шіхаба Таера Абдулваххаба Шіхаба присвячена використанню у парах тертя торцевих ущільнень відцентрових нафтогазопромислових насосів металокерамічних композитів із матрицею на основі мідно-нікель-марганцевого сплаву (МНМц) та наповнювачем із карбіду хрому є, без сумніву, актуальною та своєчасною, оскільки вирішує одну із важливих проблем нафтогазової галузі.

### **2. Аналіз роботи та її складових**

Дисертаційна робота Шіхаба Таера Абдулваххаба Шіхаба складається із вступу, п'яти розділів, висновків, додатків і переліку використаних джерел, що включає 104 найменування. Загальний обсяг роботи становить 150 сторінок, вона містить 66 рисунків, 11 таблиць.

У *вступі* сформульована загальна характеристика дисертації, розкриті науково-практичні задачі, актуальність, мета і напрямки роботи, викладено відомості про наукові та практичні результати роботи.

У *першому* розділі наведено результати критичного аналізу літературних джерел за темою дисертаційного дослідження, які стосуються причин виходу з ладу торцевих ущільнень, їх конструкції, матеріалів, які серійно застосовують для виготовлення ущільнюючих елементів (кілець). Встановлено основні критерії, яким повинні відповідати матеріали ущільнюючих кілець для забезпечення надійної роботи насосів.

За результатами аналізу показано, що раціональним шляхом підвищення довговічності торцевих ущільнень нафтогазопромислових насосів є використання для виготовлення ущільнюючих кілець металокерамічних композитів із матрицею на основі мідно-нікель-марганцевого сплаву, здатного до зміцнення при термообробці.

У *другому* розділі за результатами порівняльного аналізу фізико-механічних характеристик та економічної доцільності використання карбідів перехідних металів проведено обґрунтований вибір керамічного компоненту композиту (вищого карбіду хрому  $Cr_3C_2$ ) для виготовлення кілець торцевих ущільнень методом порошкової металургії (просочування пористого каркасу розплавом). Наведено методики експериментального визначення механічних та триботехнічних характеристик, структури, фазового та елементного складу матеріалів кілець. Запропоновано аналітичну модель для встановлення структурних характеристик композиту з метою визначення його фізико-механічних характеристик та вибрано розрахункову модель для визначення характеру поширення тепла, що виділяється при терті кілець торцевих ущільнень, виготовлених із різних матеріалів.

Розроблено стенд для дослідження кілець торцевих ущільнень в умовах що імітують роботу реального відцентрового насосу, що дозволяє проводити вимірювання коефіцієнту тертя та температури.

У *третьому* розділі проводився вибір раціональних режимів виготовлення торцевих ущільнень методом просочування пористого керамічного каркасу розплавом. Для цього було визначено параметри морфології керамічного каркасу та концентраційну залежність поверхневого натягу сплаву МНМЦ. У результаті було виведено рівняння, що описує кінетику росту глибини просоченого шару, необхідне для вибору оптимальних технологічних параметрів (температура, час), які було використано для практичної реалізації технології виготовлення кілець.

У *четвертому* розділі наведено результати рентгенівського фазового, енергодисперсійної рентгенівської спектроскопії та електронної мікроскопії запропонованого матеріалу кілець, за якими було проведено 3D моделювання структури композиту та визначено його інтегральні теплофізичні характеристики.

Шляхом розв'язку рівняння теплопровідності теплопровідності Фур'є із використанням методів операційного числення відповідно до моделі вибраної у другому розділі та за граничних умов, що відповідають парі кілець було виведено залежності, які описують процес поширення тепла, що генерується при терті. Після підстановки теплофізичних характеристик матеріалів у рівняння було отримано залежності, які описують кінетику росту температури на заданій відстані від зони фрикційного контакту. Порівняння результатів

розрахунків та даних експериментальних досліджень показали, що вони знаходяться у високій відповідності.

Порівняння значень температури та її градієнту після переходу у стаціонарний режим у серійних парах тертя кілець SiC по SiC ці показники практично у 3 рази вищі ніж для запропонованої пари SiC по композиту ( $Cr_3C_2$  – МНМЦ), що передбачає вищий рівень стійкості проти термічного розтріскування останніх.

*П'ятий розділ* присвячено експериментальному визначенню механічних, трибо технічних та експлуатаційних характеристик кілець із запропонованого композиту. Встановлено, що за умов сухого тертя запропонована комбінація матеріалів характеризується нижчими значеннями коефіцієнту тертя та інтенсивності зношування порівняно із традиційною парою в усьому дослідженому діапазоні швидкостей ковзання. При цьому підвищення швидкості ковзання веде до покращення триботехнічних характеристик за рахунок утворення у зоні контакту тонких шарів із високими антифрикційними властивостями. Визначений рівень механічних властивостей дозволяє використовувати запропонований композит як конструкційний матеріал, а показники зносостійкості є вищими порівняно із високохромистими зносостійкими матеріалами типу сормайту. Експлуатаційні випробовування запропонованої пари кілець реалізовано на лінії відцентрових насосів у складі газофракціонуючої установки при перекачуванні нафтопродуктів. За результатами планового техогляду довговічність торцевих ущільнень збільшилась у два рази.

### **3. Наукова новизна отриманих результатів**

Новизна наукових положень, які отримані автором та представлені в дисертації полягають у наступному:

- вперше встановлено, що структура матеріалу кілець торцевих ущільнень, отриманого просочуванням сформованого порошку карбиду хрому розплавом марганцевого мельхіору, складається із зв'язки на основі твердого розчину міді – 35 об. % та рівномірно розподілених дисперсних включень карбідів хрому  $Cr_3C_2$  і  $Cr_7C_3$ ;

- встановлено закономірності контактної взаємодії кілець торцевих ущільнень нафтогазопромислових насосів за умов сухого тертя ковзання шляхом використання розробленого напівпромислового стенду;

- отримала подальший розвиток теорія теплових розрахунків при терті ковзанні різнорідних композиційних матеріалів у середовищі нафтопродуктів;

- вперше визначено триботехнічні характеристики кілець торцевих ущільнень із металокерамічних композитів системи карбід хрому – марганцевий мельхіор за умов сухого тертя, що дозволило використовувати їх у парі із самозв'язаним карбідом кремнію на лініях перекачування нафтопродуктів.

### **4. Ступінь обґрунтованості наукових положень висновків і рекомендацій**

Представлені у дисертаційній роботі Шіхаба Таера Абдулваххаба Шіхаба наукові положення є обґрунтованими з позиції фундаментальних положень

теорії теплопередачі, наукових засад трибології та прикладного матеріалознавства.

Результати аналітичних розрахунків та комп'ютерного моделювання, отримані у результаті теоретичних досліджень достатньо повно підтверджені експериментальними даними та знаходяться у відповідності із науковими положеннями опублікованими у науковій літературі та періодиці.

Об'єм проведених експериментальних досліджень є достатнім для підтвердження наукових положень наведених у дисертаційному дослідженні.

## **5. Практична значимість отриманих результатів**

Практичне значення представлених у дисертаційній роботі результатів досліджень полягає у підвищенні довговічності відцентрових насосів, що працюють на лініях перекачування нафтопродуктів за рахунок суттєвого збільшення стійкості проти термічного розтріскування кілець торцевих ущільнень. Результати роботи можуть бути впроваджені, зокрема при:

- підвищенні довговічності торцевих ущільнень насосів типу 4НГ5×2, що входять до складу газофракціонуючої установки;
- розробленні технології отримання металокерамічних кілець із композиту  $Cr_3C_2$  – МНМЦ для комплектації торцевих ущільнень насосів і нафтогазовій галузі на базі компанії CGC (р. Ірак);
- розроблений лабораторний стенд може бути використаний у навчальному процесі при постановці нових лабораторних робіт.

## **6. Повнота викладення результатів роботи в опублікованих працях та відповідність змісту автореферату основним положенням дисертації**

Результати дисертаційної роботи в повній мірі висвітлені у наукових виданнях. Автором опубліковано 9 наукових праць, із них 5 – у наукових фахових виданнях України, 3 із яких входять до наукометричної бази даних Scopus, 4 праці – у збірниках тез доповідей науково-практичних конференцій.

В опублікованих працях достатньо повно розкрито основний зміст дисертаційної роботи, наукові положення та отримані результати.

У тексті автореферату наведено наукові положення, які за змістом є ідентичними до тих, що наведені у дисертаційній роботі. Оформлення та обсяг автореферату відповідають чинним вимогам МОН України.

## **7. Зауваження по дисертаційній роботі**

1. При аналізі відомих матеріалів для виготовлення пар тертя (підрозділ 1.3) наведено дані щодо використання вольфрамових твердих сплавів (металокерамічних композитів) для виготовлення кілець торцевих ущільнень, однак не виділено недоліки їх використання із чого не достатньо обґрунтовано переваги запропонованого композиту над існуючими.

2. У розділі 2 (рис. 2.4) наведено режим термічної обробки композиту, який передбачає набуття ним підвищеного рівня механічних властивостей за

умов ізотермічної витримки при температурі 400 °С, однак при терті реальної пари навіть за умов сухого тертя такі температури не досягаються.

3. На знімках стенду для дослідження торцевих ущільнень (розділ 2, рис. 2.14 – 2.15) не показано яким чином у пару тертя подавалось робоче середовище – нафтопродукти.

4. У розділі 3 (підрозділ 3.2) проводився розрахунок поверхневого натягу розплаву. Однак, його значення є визначені експериментально у літературних джерелах, відповідно виникає необхідність обґрунтування проведення таких розрахунків.

5. У таблиці 4.1 (розділ 4) показано, що за результатами хімічного аналізу у металевій складовій композиту виявлено 3,4 % вуглецю проте у розділі 2 де приводиться склад сплаву (таблиця 2.3) вуглецю немає.

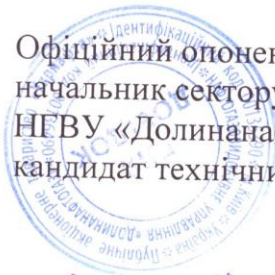
6. У розділі 5 (рисунок 5.1) приведено знімок зруйнованого кільця відцентрового насосу 4НГ5×2, яке на думку автора вийшло з ладу внаслідок терморозтріскування, однак цілком можливо, що воно вийшло з ладу внаслідок інших причин, наприклад неправильного монтажу у корпус. Слід було б більш глибоко дослідити причини його руйнування зокрема із використанням методів виявлення тріщин таких як мікроскопія, неруйнівні методи та ін..

## 8. Загальний висновок

В цілому дисертація Шіхаба Таера Абдулваххаба Шіхаба на тему «Підвищення довговічності торцевих ущільнень нафтогазопромислових відцентрових насосів» є завершеною науковою працею із чітким, логічним та послідовним викладенням матеріалу. Отримані результати містять наукову новизну і знаходяться у відповідності із існуючими уявленнями щодо методів підвищення довговічності пар тертя у нафтогазовій галузі та достатньо повно опубліковані у наукових працях.

Загалом дисертаційна робота відповідає паспорту спеціальності 05.05.12 – «Машини нафтової та газової промисловості» та вимогам п. 9, 11 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24.07.2013 р. із змінами, затвердженими постановою Кабінету Міністрів України № 656 від 19 серпня 2015 р. щодо кандидатських дисертацій, а її автор Шіхаб Таер Абдулваххаб Шіхаб, заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 05.05.12 – «Машини нафтової та газової промисловості».

Офіційний опонент,  
начальник сектору диспетчерезації  
НГВУ «Долина нафтогаз», ПАТ «Укрнафта»,  
кандидат технічних наук



О.О. Кузьмін

Відзук надійшов у спеціалізовану вчену раду № 20.052.04. 18.06.2019р  
Учений секретар / ФНТУНЧ / В. Пріцок /