

У спеціалізовану вчену раду  
К 55.051.03  
Сумського державного  
університету

## **ВІДГУК**

офіційного опонента

на дисертаційну роботу ГУДКОВА Сергія Миколайовича  
за темою «**Торцеве сальникове ущільнення з гідродинамічним  
розвантаженням пари тертя**»

подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук  
за спеціальністю 05.02.09 – динаміка та міцність машин

**Актуальність теми.** Однією з актуальних проблем сучасного насособудування є проблема герметизації роторів. У насосах загальнопромислового призначення застосування торцевих механічних ущільнень економічно недоцільно, а сальникові ущільнення не забезпечують ресурс вузла, рівний ресурсу насоса. Тому розробка конструкцій ущільнень, порівнянних за вартістю з сальниковими ущільненнями і герметичністю та довговічністю з торцевими механічними ущільненнями, є актуальною.

Вдалимпоеднанням переваг конструкцій торцевих механічних і радіальних сальникових ущільнень є торцеві сальникові ущільнення. Торцеві сальникові ущільнення поєднують в собі герметичність та довговічність торцевих механічних ущільнень і простоту та дешевизну радіальних сальникових ущільнень. Головним недоліком торцевого сальникового ущільнення є те, що через нерівномірність розподілу контактного тиску по радіусу пари тертя воно є досить перевантаженим. У зв'язку з цим необхідно застосовувати відповідні конструктивні заходи з розвантаження пари тертя, забезпечуючи при цьому роботу ущільнення в режимі змішаного змащення з мінімальними коефіцієнтами тертя і мінімальними витокami. Одним з можливих шляхів підвищення герметичності та довговічності торцевих сальникових ущільнень є застосування гідродинамічного розвантаження пари тертя.

Тому дисертаційна робота, яка присвячена підвищенню герметичності та довговічності торцевих сальникових ущільнень є важливою і актуальною.

Актуальність теми дисертації підтверджується також тим, що робота виконувалася в рамках науково-дослідницької тематики кафедри загальної механіки і динаміки машин Сумського державного університету і реалізована при виконанні держбюджетних науково-дослідних робіт «Торцеве сальникове ущільнення з гідродинамічним розвантаженням пари тертя» (№ 0108U002233), «Дослідження робочого процесу та розробка теорії нових енергоефективних та ресурсозберігаючих конструкцій ущільнень відцентрових машин» (№ 0113U000135).

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається зі вступу, шести розділів, висновків, переліку використаних джерел та



одногододатку. Загальний обсяг дисертації становить 154 сторінки, 102 рисунки і 8 таблиць по тексту. Обсяг основного тексту дисертації становить 136 сторінок. У додатках наведені акти, які підтверджують впровадження основних результатів дисертаційної роботи на підприємствах та в учбовому процесі Сумського державного університету.

Текст дисертаційної роботи на початку має перелік умовних позначень, який значно покращує процес ознайомлення з роботою.

Вступ містить аргументацію актуальності роботи. Сформульовані мета, задачі роботи, визначено об'єкт, предмет і методи дослідження. Вказана наукова новизна та практичне значення одержаних результатів. Відмічений особистий внесок здобувача. Подано відомості про апробацію та публікації дисертаційної роботи.

У першому розділі наведені результати аналізу науково-технічних джерел за темою дисертаційної роботи. Основна увага в першому розділі присвячена аналізу конструкцій і методів гідродинамічного розвантаження пари тертя контактних ущільнень. Зокрема, розглянуто конструкції гідродинамічних торцевих механічних та манжетних ущільнень. На основі цього аналізу був зроблений висновок про можливість застосування гідродинамічного розвантаження пари тертя у торцевому сальниковому ущільненні.

Другий розділ присвячений експериментальним дослідженням торцевих сальникових ущільнень з гідродинамічним розвантаженням пари тертя, які проводилися з метою встановлення можливості застосування запропонованого способу розвантаження та механізму герметизації пари тертя торцевого сальникового ущільнення.

Приведені результати експериментальних досліджень різних конструкцій торцевих сальникових ущільнень з гідродинамічним розвантаженням пари тертя: з трапецієвидними канавками на дні обойми під сальниковою набивкою і замкнутими канавками на торцевій поверхні опорного диску. Всі експерименти проводились по розробленій методиці та з застосуванням сучасного вимірювального обладнання, що підтверджує точність отриманих результатів. Експериментальні дослідження показали, що більш перспективним є застосування конструкцій торцевих сальникових ущільнень з замкнутими канавками на опорному диску. Виконано порівняння результатів експериментальних досліджень традиційної та конструкції торцевого сальникового ущільнення з замкнутими канавками на опорному диску. Так при ущільнюваному тиску 0,6 МПа коефіцієнт тертя в конструкції торцевого сальникового ущільнення з замкнутими канавками на опорному диску в 3 рази менше ніж в традиційній конструкції, при цьому в новій конструкції зменшуються витрати.

У третьому розділі подаються результати експериментального визначення трибомеханічних властивостей сальникових набивок.

Експериментально визначені фізико-механічні властивості різних типів сальникових набивок. Показано, що на фізико-механічні властивості істотно впливає кількість циклів навантаження, переріз сальникової набивки та матеріал, з якого вона виготовлена. Отримані емпіричні залежності, які дозволяють визначити модуль пружності та коефіцієнт Пуасона в залежності



від осьового навантаження.

Вперше експериментально визначено шорсткість сальникової набивки. Отриманий профіль шорсткості сальникової набивки для двох конструкцій торцевих сальникових ущільнень. Отримані результати дають можливість визначити початковий зазор, необхідний при розв'язанні задачі пружногідродинамічного змащення торцевого сальникового ущільнення.

У четвертому розділі представлені результати числового розв'язання задачі пружногідродинамічного змащення торцевого сальникового ущільнення з гідродинамічним розвантаженням пари тертя. Числове дослідження проводилося за допомогою сучасного ліцензійного програмного комплексу ANSYS Academic Research CFD 12.1.

Отримані результати числового розрахунку добре підтверджуються експериментальними даними. Так для конструкції торцевого сальникового ущільнення з замкнутими камерами розбіжність між експериментальними даними і результатами числового розрахунку не перевищує 2 %, що підтверджує достовірність розробленої методики числового розв'язання задачі пружногідродинамічного змащення, яка може застосовуватися для розрахунку конструкцій торцевих сальникових ущільнень з гідродинамічним розвантаженням пари тертя. Виконано оптимізацію геометрії канавки трапецієвидної форми. Для досліджуваних конструкцій отримані розподіли контактного і гідродинамічного тисків та лінії течії в зазорі.

П'ятий розділ присвячений ресурсним випробуванням торцевого сальникового ущільнення з реверсивними канавками. У проблемній лабораторії «Гермомеханіки та вібродіагностики» кафедри загальної механіки та динаміки машин Сумського державного університету здобувачем розроблений стенд для ресурсних випробувань.

У результаті випробувань отримані залежності витоків через ущільнення від часу випробування та ущільнюваного тиску. Так витoki після 200 годин припрацювання в середньому дорівнювали 4 мл/год. При збільшенні ущільнюваного тиску витoki через ущільнення незначно збільшуються і при тиску 2 МПа не перевищують 20 мл/год. Тому ця конструкція торцевого сальникового гарантовано може використовуватися при тисках ущільнюваної рідини до 2 МПа. Отриманні результати ресурсних випробувань підтвердили ефективність застосування гідродинамічного розвантаження пари тертя торцевого сальникового ущільнення.

У шостому розділі виконаний динамічний аналіз для двох типів конструкцій торцевих сальникових ущільнень (з аксіально-рухою втулкою, яка обертається; з аксіально-рухою втулкою, що не обертається) та двох їх типорозмірів. Розрахунок таких крайніх варіантів дозволив судити про динаміку ущільнень з проміжними параметрами. Встановлено, що осьові коливання аксіально-рухої втулки визначаються лише осьовими коливаннями валу. Побудовані амплітудно-частотні характеристики, з яких можна зробити висновок, що власна частота осьових коливань втулки, як правило, набагато більша робочої частоти обертання ротора, тому резонансні режими - явище рідкісне.



Наведена методика статичного розрахунку саморегульованого торцевого сальникового ущільнення. Визначений вплив кута встановлення пружних стержнів на втрати потужності на тертя та температурний стан пари тертя. Так зі збільшенням кута встановлення пружних стержнів потужність на тертя зменшується.

Наведена методика інженерного розрахунку торцевих сальникових ущільнень з гідродинамічним розвантаженням пари тертя, яка дозволяє розраховувати ущільнення на різні параметри.

Висновки в дисертації є цілком обґрунтовані, відображають наукову новизну і практичну цінність одержаних результатів.

Обсяг і оформлення дисертації відповідає вимогам щодо дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. У тексті дисертації є посилання автора на власні наукові роботи.

**Наукова новизна.** Наукова новизна отриманих результатів складається з наступного:

- вперше експериментально встановлена та теоретично обґрунтована доцільність застосування гідродинамічного розвантаження пари тертя торцевого сальникового ущільнення;

- вперше розроблена методика числового розв’язання задачі пружногідродинамічного змащення торцевого сальникового ущільнення;

- експериментально визначені трибомеханічні властивості сальникової набивки, які дають можливість отримати модуль пружності та коефіцієнт Пуассона, а також початковий зазор, який необхідний для розв’язання задачі пружногідродинамічного змащення торцевого сальникового ущільнення;

- вперше виконано оцінку динамічних характеристик торцевих сальникових ущільнень та досліджено вплив кута встановлення пружних стержнів на статичні характеристики саморегульованого торцевого сальникового ущільнення.

**Практична цінність.** Практична цінність роботи полягає у наступному:

- вирішена актуальна проблема підвищення довговічності та герметичності торцевих сальникових ущільнень відцентрових насосів за рахунок гідродинамічного розвантаження пари тертя;

- розроблені нові конструкції торцевих сальникових ущільнень з гідродинамічним розвантаженням пари тертя;

- розроблена методика числового розв’язання задачі пружногідродинамічного змащення торцевого сальникового ущільнення з гідродинамічним розвантаженням пари тертя;

- розроблена методика інженерного розрахунку торцевих сальникових ущільнень з гідродинамічним розвантаженням і саморегульованим моментом пари тертя;

- основні результати теоретичних та експериментальних досліджень використовуються в СКБ ПАТ «Сумське машинобудівне НВО ім. М.В. Фрунзе» (м. Суми) та ТОВ «ТРИЗ» (м. Суми) при проектуванні та модернізації відцентрових насосів, а також у навчальному процесі Сумського державного університету.



## Зауваження

1. В експериментальній частині бажано було б провести експериментальні дослідження впливу частоти обертання валу на робочі характеристики торцевого сальникового ущільнення з гідродинамічним розвантаженням пари тертя.

2. Для більш детального вивчення фізико-механічних властивостей сальникової набивки необхідно провести дослідження впливу часу на релаксацію напружень.

3. З четвертого розділу незрозуміло, чи досліджувався вплив нелінійності фізико-механічних властивостей сальникової набивки на робочі характеристики торцевого сальникового ущільнення з гідродинамічним розвантаженням пари тертя.

4. В шостому розділі (п. 6.2.1) приведена схема статичного розрахунку конструкції саморегульованого торцевого сальникового ущільнення. З нею не зрозуміло, як складаються проекції зусиль на вісь Y.

Зроблені зауваження носять рекомендаційний характер і не впливають на загальну позитивну оцінку дисертації.

## Висновки

Аналіз дисертації Гудкова С.М. «Торцеве сальникове ущільнення з гідродинамічним розвантаженням пари тертя» дозволяє зробити наступні висновки»:

1. Тема дисертаційної роботи є актуальною і відповідає спеціальності 05.02.09 – «Динаміка та міцність машин».

2. Результати, що представлені здобувачем в дисертаційній роботі, мають наукову новизну і практичну цінність.

3. Отримані результати роботи є достовірними та підтвердженні експериментальними та числовими дослідженнями. Заслуговує на увагу те, що перевірка основних теоретичних положень дисертації здійснена шляхом натурного експерименту на спеціально розробленому стенді.

4. Дисертаційна робота є завершеною науковою працею, в якій отримано нові науково обґрунтовані результати.

5. Основні результати дисертаційної роботи викладенні в 7 статтях, з них 5 наукових статей що входять до затвердженого переліку фахових видань України (1 входить до бази даних *IndexCopernicus*), 2 публікації у закордонних виданнях (1 входить до бази даних *Scopus*). Результати дисертації доповідалася на 7-ми міжнародних та 6-ти всеукраїнських науково-технічних конференціях.

6. Викладання матеріалу послідовне і сприятливе для розуміння. Робота виконана і оформлена згідно з ДСТУ 3008.95 «Звітів у сфері науки і техніки».

7. Автореферат повністю висвітлює зміст дисертаційної роботи.

Дисертація відповідає вимогам п. 9, 11, 12 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового

співробітника», затвердженому постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24 липня 2013 р., які висуваються до кандидатських дисертацій та паспорту спеціальності 05.02.09 – динаміка та міцність машин, а її автор Гудков Сергій Миколайович заслуговує присудження йому наукового ступеня кандидата технічних наук із зазначеної спеціальності.

Офіційний опонент – д.т.н., професор,  
завідувач кафедри динаміки та  
міцності машин  
Національного технічного університету  
«Харківський політехнічний інститут»



Г.І. ЛЬВОВ

