

ВІДГУК

офіційного опонента

на дисертаційну роботу Позовного Олександра Олександровича
**«Вплив багатошпаринних ущільнень на герметичність та
вібронадійність відцентрових насосів»**,

яка подана на захист до разової спеціалізованої вченої ради ДФ55.051.029
Сумського державного університету, що утворена МОН України від
02.12.2021 р. №1296 для розгляду та проведення разового захисту
дисертації на здобуття наукового ступеня доктора філософії за
спеціальністю

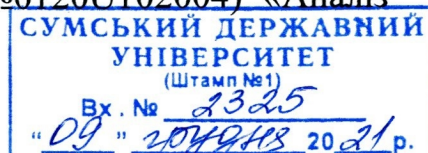
133 – Галузеве машинобудування

Актуальність теми дисертації. В багатьох технологічних схемах різних галузей виробництва одним із основних елементів гідравлічних систем є відцентрові насоси. Можливість зниження енергетичних та матеріальних витрат, покращення показників надійності є найважливішими проблемами промисловості тому, що витрати перекачування в деяких галузях складають більше половини загальних витрат виробництва. Розвиток технологій привів до поступового підвищення робочих параметрів: подач, тисків та швидкостей обертання, що потребує вдосконалення геометрії передніх та міжступеневих конструкцій ущільнень.

Одним із способів підвищення вібронадійності та герметичності відцентрових насосів є використання багатошпаринних ущільнень, які при тих же осьових розмірах зменшують об'ємні втрати в порівнянні з одношпаринними за рахунок збільшення сумарної довжини ущільнень та місцевих втрат на входах та виходах зі шпарин.

Динамічні характеристики роторів відцентрових насосів визначаються взаємозв'язком роторних та статорних компонентів машини, а саме, в значній мірі, силами, що виникають в кільцевих ущільненнях, які розташовані за всією довжиною. Методика визначення та експериментальні дані відносно сил, що виникають внаслідок перепадів тисків та обертання вала в звичайних кільцевих ущільненнях представлена як в вітчизняній, так і закордонній літературі. Проте аналіз багатошпаринних ущільнень обмежується визначенням гідростатичних сил та витоків без обертання вала. Тому дисертаційна робота Позовного О.О., присвячена дослідженню впливу багатошпаринних ущільнень на герметичність та вібронадійність відцентрових насосів, є актуальною.

Актуальність дисертаційної роботи підтверджуються також тим, що вона виконана в рамках двох науково-дослідних робіт Сумського державного університету, а саме НДР (№0117U002249) «Підвищення трибологічних характеристик торцевих ущільнень і упорних підшипників ковзання високообертових відцентрових машин» та НДР (№0120U102004) «Аналіз



впливу гідродинамічних сил, які діють у вузьких зазорах ущільнень та опор, на підвищення енергоефективності та зниження шкідливих викидів і вібрацій відцентрових машин»

Наукова новизна

- вперше чисельно та експериментально досліджено гідродинамічні процеси в двох- та трьохшпаринних ущільненнях та отримані статичні, динамічні та витратні характеристики для різних конструкцій таких ущільнень в залежності від величини ущільнювального тиску та частоти обертання вала;

- експериментально виявлено можливий режим автоколиваний необертального вала в трьохшпаринному ущільненні та надано пояснення виникнення цього явища на основі розрахункового експерименту;

- вперше за допомогою експериментальних та розрахункових досліджень отримано розподіл гідростатичного тиску по довжині циліндричних зазорів двох- та трьохшпаринного ущільнень в залежності від геометрії та осьового розміру з'єднувальних камер, а також величини радіального зміщення вала; проаналізовано вплив геометрії з'єднувальних камер та зазору другої шпарини на розподіл гідростатичного тиску та швидкостей по довжині та окружності багатшпаринних ущільнень;

Практичне значення

За допомогою розрахункових досліджень, заснованих на розв'язанні рівнянь руху турбулентної течії методом скінчених об'ємів, автором проаналізовано внесок кожної шпарини на величину гідродинамічних сил в різних конструкціях двох- та трьохшпаринних ущільнень.

Основні результати теоретичних та експериментальних досліджень, виконаних автором дисертації, впроваджені у вигляді методики розрахунку та рекомендацій по конструюванню багатшпаринних ущільнень відцентрових насосів в «Науково-дослідному і проектно-конструкторському інституті атомного та енергетичного насособудування» (АТ «ВНДІАЕН», м. Суми), а також у навчальний процес кафедри комп'ютерної механіки імені Володимира Марцинковського Сумського державного університету при викладанні дисциплін фахового напрямку для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка».

Достовірність та обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертації

Достовірність результатів дисертаційного дослідження забезпечується коректністю постановок математичних задач, проведенням порівняння результатів розрахунків з експериментальними даними як-от: порівняння величини витоків від радіального зміщення вала для різних варіантів конструкцій та розподіли тиску в ущільненні.

Обґрунтованість наукових положень підтверджується застосуванням стандартних процедур математичного аналізу й методів математичної фізики,

відповідністю змісту математичних конструкцій фізичній суті описуваних процесів.

Значна кількість дослідних даних при параметрах, що відповідають реальним умовам роботи технологічного обладнання, використання сучасних засобів вимірювань під час експериментальних досліджень, а також методів підтвердження адекватності теоретичних моделей, свідчать про високий ступінь достовірності та обґрунтованості результатів.

Аналіз основного змісту дисертації

Дисертаційна робота Позовного О.О. є завершеною науковою працею, складається зі вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел та 2 додатків. Загальний обсяг дисертаційної роботи становить 181 сторінок, 83 рисунки та 17 таблиць.

У *вступі* дисертації представлено актуальність роботи, зв'язок з науковими темами, сформульовано мету та завдання дослідження, викладено наукову новизну та практичне значення одержаних результатів, а також зазначені публікації та апробацію наукових результатів.

Перший розділ містить огляд літератури за темою дисертації. Представлено пояснення «ефекту Ломакіна» та детально описані гідродинамічні сили, що виникають в шпаринних ущільненнях. Проаналізовані можливі фактори, що впливають на витoki в кільцевих ущільненнях. Розглянуті різні конструкції шпаринних ущільнень, серед яких багатошпаринні ущільнення та подібні до них конструкції з розділенням кільцевого каналу з'єднувальною камерою. З практичного досвіду встановлено, що багатошпаринні ущільнення можуть викликати підвищені вібрації. В існуючій літературі відсутня інформація про наявність аналітичних методів розрахунку динамічних сил в конструкціях таких ущільнень. Також відсутні пояснення виникнення вібрацій в них. На основі проведеного аналізу джерел інформації були сформульовані завдання досліджень.

У *другому* розділі представлена методика визначення лінеаризованих гідростатичних сил в залежності від ексцентриситету. Отримано спрощені вираження для визначення витрат для автотурбулентної області турбулентності без врахування ексцентриситету. Запропонована математична модель для визначення радіальних сил в двох та трьохшпаринних ущільненнях. Розроблена математична модель для побудови амплітудно-частотних та фазово-частотних характеристик. Представлено порівняння двох та трьохшпаринного ущільнень з одношпаринним. На рис. 2.2. використано частоту обертання ротора, але немає пояснення за допомогою яких розрахунків чи експериментів побудовано графік. Відповідні розрахунки щодо частотних характеристик проведені пізніше. Тобто відбувається порушення логічності зв'язаності тексту другого розділу.

У *третьому* розділі отримані результати експериментальних досліджень трьохшпаринних ущільнень в статичній та динамічній постановках. Описано схему експериментальної установки та методику проведення експерименту. На основі результатів експериментальних досліджень визначено режим течії. Проведено порівняння результатів аналітичних розрахунків та експериментальних досліджень. Представлені результати числових досліджень трьохшпаринних ущільнень в статичній та динамічній постановках. Ідентифіковано коефіцієнти динамічних сил на основі розрахункових досліджень. Використано термін «адекватність зміщення роторної втулки», але не зрозуміло, що саме має на увазі автор використовуючи такий термін. Кілька разів за текстом розділу та дисертації автор указав, що розглядає рідину як нестисливу рідину, але навів рівняння (3.5-3.6) саме для стисливої. На рис. 3.33б автор стверджує, що має місце лінійний взаємозв'язок між тангенціальною силою та відносною частотою прецесії, але для того, щоб стверджувати більш переконливо необхідно було б навести статистичні критерії, наприклад, критерій Пірсона.

Четвертий розділ присвячений дослідженню впливу з'єднувальної камери на розподіл тиску та швидкість течії рідини в ущільненні. Проведено числовий аналіз двохшпаринного ущільнення без обертання вала для трьох варіантів геометрії з'єднувальної камери. Визначено вплив осьового розміру та об'єму з'єднувальної камери на радіальну гідростатичну силу при різних значеннях ущільнювального тиску. На основі результатів розрахункових експериментів запропоновано рекомендації, щодо осьових розмірів з'єднувальної камери. Ефективність конструкцій двохшпаринних ущільнень підтверджена результатами динамічних досліджень трьох варіантів конструкцій з максимальними осьовими розмірами камер.

Висновки за дисертаційною роботою відповідають її змісту та поставленим завданням досліджень, повністю відображають отримані результати.

Повнота вкладення результатів роботи в наукових публікаціях.

Матеріали дисертаційної роботи Позовного О.О. висвітлено у 13 наукових публікаціях, серед яких: 3 статті, з яких одна стаття індексується наукометричною базою Scopus та 2 статті, які входять до переліку фахових видань України; по одному розділі у 2 монографіях, серед яких один із них індексується наукометричними базами Scopus та Web of Science. Апробація результатів роботи здійснена у вигляді 6 тез доповідей на вітчизняних та міжнародних конференціях.

В цілому рівень дисертації повністю відповідає вимогам пп. 11 «Тимчасового порядку присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України № 167 від 6 березня 2019 р.

Відсутність (наявність) порушення академічної доброчесності.

В дисертаційній роботі відсутні порушення академічної доброчесності. Використання ідей і результатів, а також текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

Зауваження до дисертаційної роботи:

1. В першому розділі під час проведення огляду літератури автором зазначаються формули для визначення коефіцієнту закручування, які використовують для визначення динамічної стійкості системи, проте ці параметри не досліджуються в подальших розрахунках.
2. В 4 розділі автор запропонував для аналізу впливу геометрії з'єднувальної камери розглянути конструкцію двохшпаринного ущільнення, проте робота набула б кращого вигляду, якби геометричні розміри конструкції ущільнення відповідали конкретному насосу, наприклад насосу типу К (консольного насосу).
3. В розділі 4 отримана велика кількість результатів числового експерименту, можливо більш доцільнішим було б застосування методів оптимізації, що допомогло б визначити межі зміни радіальних гідростатичних сил.
4. Відомо, що у відцентрових насосах використовуються зазори в шпаринних ущільненнях в діапазоні 0,2-0,4 мм, проте в роботі автор не наводить аргументації, чому саме він використовує зазор 0,2 мм.
5. Не зважаючи на високу релевантність отриманих результатів, в роботі відсутні будь-яка інформація, щодо методики оцінювання параметрів експериментальних результатів.
6. В розділах 3 та 4, на рисунках, що стосуються розподілу тиску в серединній площині ущільнень та вкладу сил кожної шпарини для різних конструкцій ущільнень необхідно додати деякі уточнення для кращого сприйняття. Необхідний більш детальний опис місця знаходження цих розрізів. Зокрема, варто навести вигляд кожної окремої шпарини чи конструкції ущільнення повністю.
7. Під час описання експериментальної установки дослідник використовував цілий ряд пристроїв та вимірювального обладнання (манометри, вібропорт, осцилографи, термометр, плунжерний насос та ін.). Це дозволило виконати експериментальне дослідження на високому рівні. Проте автор не надав описання кількох моделей пристроїв, а саме вібропорта та двохкоординатного самописця, також не вказав класи точності для всіх манометрів та приборів.
8. Важливо було б розглянути також інші варіанти співвідношень довжин шпарин, а також оцінити економічний ефект від запропонованих автором рішень.

ВИСНОВОК

Дисертаційна робота Позовного Олександра Олександровича “Вплив багатощаринних ущільнень на герметичність та вібронадійність відцентрових насосів” за своїм змістом відповідає паспорту спеціальності 133 – галузеве машинобудування та є завершеною науковою працею, яка спрямована на отримання нових науково-обґрунтованих теоретичних і експериментальних результатів досліджень, які в сукупності розв’язують важливе науково-технічне завдання, пов’язане з аналізом впливу багатощаринних ущільнень на герметичність та вібронадійність відцентрових насосів.

Дисертаційна робота відповідає вимогам пп. 10, 11 та 12 «Тимчасового порядку присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України № 167 від 6 березня 2019 р, а здобувач Позовний Олександр Олександрович заслуговує присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 133 – Галузеве машинобудування.

Офіційний опонент
завідувач кафедри гідравлічних
машин ім. Г.Ф. Проскури
Національного технічного університету
«Харківський політехнічний інститут»
доктор технічних наук, професор



Підпис: *ADP* Андрій РОГОВИЙ
ЗАСВІДЧУЮ:
ВЧЕННИЙ СЕКРЕТАР
НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»
Закворотний О.Ю.
12 20 21 р.