

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу
БЕДИ Олександра Івановича

«Динамічні характеристики ротора відцентрового насоса з урахуванням особливостей гідродинамічних процесів в шпаринних ущільненнях довільної довжини»,

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

Актуальність теми. Відцентрові насоси знайшли широке застосування в багатьох галузях народного господарства. Перспективним напрямком їх вдосконалення є збільшення потужності за рахунок підвищення швидкості обертання ротора. Але з ростом частоти обертання ротора може істотно погіршитися вібраційний стан машини. Відомо, що вібраційний стан високонапірних відцентрових насосів в значній мірі визначається гідродинамічними процесами, які відбуваються в заповнених рідиною під тиском кільцевих зазорах між обертовими та нерухомими елементами проточної частини насоса. Однак накоплений на даний час об'єм теоретичних та експериментальних даних відносно впливу шпаринних ущільнень на вібраційний стан ротора недостатній для вирішення практичних задач динамічних розрахунків і проектування швидкооберткових роторів можливий спіральний рух рідини, але на сьогодні не досліджено такий режим руху рідини і його вплив на динаміку ротора.

Отже, як у технічному, так і науковому плані актуально дослідити гідродинамічні процеси у шпаринних ущільненнях при спіральному русі рідини з метою уточнення їх якісного і кількісного впливу на динамічні характеристики ротора відцентрового насоса.

Актуальність теми дисертації підтверджується також тим, що робота виконувалася в рамках науково-дослідницької тематики кафедри загальної механіки та динаміки машин Сумського державного університету та реалізована при виконанні науково-дослідної роботи «Дослідження динаміки роторів відцентрових машин та розробка методів ідентифікації їх математичних моделей» (№0110U002621), де здобувач був виконавцем окремих розділів.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновку, переліку використаних джерел та двох додатків. Загальний обсяг дисертації становить 140 сторінок, 52 рисунка і 5 таблиць по тексту. Обсяг основного тексту дисертації становить 121 сторінку.

Обсяг і оформлення дисертації відповідає вимогам щодо дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук.

Зміст автореферату та його структура узгоджується з дисертаційною роботою.

У вступі обґрунтована актуальність проведеного дослідження, викладена наукова новизна і практична цінність представленої роботи. Структура представлення основних положень проведеного дослідження у вступі відповідає встановленим вимогам.

У першому розділі наведені результати інформаційного огляду існуючих джерел за темою дисертаційного дослідження, на підставі якого автор робить висновок, що задачі розрахунку динамічних характеристик ротора відцентрового насоса з урахуванням шпаринних ущільнень у методичному плані можуть вважатися вирішеними. Надійність вказаних розрахунків визначається достовірністю інформації про величину радіальної сили у шпаринному ущільненні. На даний час існує чимала кількість теоретичних та експериментальних досліджень гідродинамічних процесів у шпаринних ущільненнях та їх впливу на динамічні характеристики ротора. Але в більшості із них розглядаються моделі так званих коротких ущільнень, в яких окружною складовою швидкості руху рідини, обумовленої полем тиску в шпарині, нехтують. В літературі відсутні аналітичні методи розрахунку шпаринних ущільнень з урахуванням спірального руху робочої рідини в шпаринному ущільненні, який обумовлений полем тиску рідини в шпарині.

Автором визначено необхідність подальшого дослідження гідродинамічних процесів у шпарині зі спіральним рухом рідини. Вирішення цього завдання визначило мету і задачі досліджень.

У другому розділі здобувачем запропонована математична модель шпаринного ущільнення, яка враховує спіральний рух робочої рідини в шпарині, обумовлений полем тиску, та проведені теоретичні дослідження гідродинамічних процесів в ущільненні. Одержано аналітичні вирази для розрахунку складових лінеаризованої радіальної сили, що діє на ротор з боку шару рідини, дана оцінка впливу окружних перетоків на їх величини в залежності від геометричних розмірів шпарини. Заслужують уваги побудовані діаграми для безрозмірних коефіцієнтів лінеаризованих складових радіальної сили, які дають змогу аналізувати вплив геометричних розмірів шпарини на радіальну силу без додаткових розрахунків.

Показано, що гідростатична сила в шпарині має м'яку характеристику жорсткості.

Проведено аналіз величини радіальної сили у відносно довгому шпаринному ущільненні з кільцевою канавкою. Показано, що суттєвий вплив кільцевої канавки на коефіцієнт радіальної жорсткості гідростатичної сили спостерігається вже у шпарині з параметром $l_r > 0,75$, при цьому також суттєво зменшується дестабілізуючий вплив складової гідростатичної сили, обумовленої перекосом вала у втулці.

Третій розділ присвячено експериментальним дослідженням. Наведено схему експериментальної установки, методики проведення та обробки результатів експериментальних досліджень.

Отримано експериментальні значення коефіцієнтів радіальної та кутової жорсткості гідростатичної сили. Співставлення теоретичних розрахунків і даних експерименту свідчать про задовільний збіг результатів, що підтверджує достовірність розробленої методики розрахунку гідродинамічних параметрів шпаринних ущільнень з урахуванням спірального руху рідини в шпарині.

У четвертому розділі досліджено вплив гідродинамічних процесів у шпаринних ущільненнях, зокрема спіральної течії рідини у шпарині, на критичні швидкості як модельного одномасового ротора, так і ротора відцентрового насоса ПЕ 400-185. Показано, що урахування окружних перетоків робочої рідини та кутової жорсткості гідростатичної сили у циліндричній шпарині автоматичної системи осьового урівноваження ротора вказаного насоса суттєво уточнює величини критичних частот обертання (в бік зменшення). Так, наприклад, зменшення першої критичної частоти досягає від 7.5% до 8%, другої – від 18% до 21% у залежності від величини середнього радіального зазору. Встановлено зростання впливу на динаміку ротора перекоосу осей ротора та втулки.

Новизна наукових положень, результатів, висновків та рекомендацій.

Основні результати, які одержав особисто дисертант, і які складають наукову новизну, полягають у наступному:

- набув подальшого розвитку метод розрахунку складових радіальної сили у шпаринному ущільненні зі спіральним рухом рідини, у результаті якого вперше одержано їх аналітичні вирази;
- побудовано діаграми для безрозмірних коефіцієнтів лінеаризованих складових радіальної сили;
- вперше показано, що гідростатична сила, обумовлена радіальним зміщенням ротора, з урахуванням окружних перетоків робочої рідини в шпарині має м'яку характеристику жорсткості;
- вперше дана експериментальна оцінка коефіцієнту кутової жорсткості гідростатичної сили, обумовленої перекосом вала в ущільненні;
- вперше експериментально виявлено явище самозбудження коливань вала, який не обертається, у відносно довгому ущільненні циліндричної форми.

Достовірність та обґрунтованість результатів і наукових положень дисертації обумовлені коректністю поставлених задач досліджень, використанням для їх розв'язання методів аерогідродинаміки, теоретичної механіки, елементів теорії роторних систем, відомих математичних методів.

Заслужовує на увагу те, що перевірка основних теоретичних положень дисертації здійснена шляхом зіставлення як з відомими експериментальними

результатами ($l_r \leq 1,3$), так і з результатами, одержаними здобувачем на спеціально розробленому стенді ($l_r = 2,5$).

Висновки дисертації є цілком обґрунтованими, вони безпосередньо впливають із проведених різнопланових досліджень, відображають наукову новизну і практичну цінність одержаних результатів.

Практична цінність роботи і область застосування її результатів полягають у наступному.

Результати досліджень, з одного боку, дають можливість вже на стадії проектування високошвидкісних відцентрових насосів приймати конструктивні рішення, що забезпечать низький рівень вібрації, а з іншого – виявляти і, по можливості, усувати причини незадовільного вібраційного стану насосів, що знаходяться в експлуатації.

Отримані в дисертаційній роботі уточнені аналітичні вирази для складових радіальної сили у шпаринному ущільненні у подальшому можуть бути використані для розрахунку динамічних характеристик ротора швидкохідної відцентрової машини на етапах проектування.

Результати дисертаційної роботи Беди О.І. впроваджені при розробці та модернізації відцентрових насосів на підприємстві ВАТ «ВНДІАЕН» (м. Суми), а також використовуються викладачами кафедри загальної механіки та динаміки машин у навчальному процесі у Сумському державному університеті.

Повнота викладення матеріалів дисертації в публікаціях. Основні результати дисертації з достатньою повнотою висвітлені у 18 наукових працях, серед яких 6 статей у фахових виданнях України, 3 статті у складі монографій та збірників, 3 статті у закордонних виданнях та 6 тезах доповідей на науково-технічних конференціях.

Основні результати роботи знайшли належну апробацію у 2010-2014 р.р. на різних науково-технічних конференціях. У повному обсязі робота доповідалася на розширеному науковому семінарі кафедри загальної механіки і динаміки машин Сумського державного університету у 2015 р.

Зауваження до дисертаційної роботи.

За змістом дисертаційної роботи слід зробити наступні зауваження:

1. Побудова графіків залежностей коефіцієнтів радіальної і кутової жорсткості та коефіцієнта демпфування від положення кільцевої канавки у шпарині на рисунках 2.21 – 2.23 потребує пояснення.

2. Для оцінки якісного опису експериментальних даних лінійним рівнянням регресії автор планує використати формули (3.3) та (3.4) (обчислення дисперсії коефіцієнта регресії та коефіцієнта детермінації), але в подальшому він їх не використовує.

3. Характеризуючи зіставлення теоретичних та експериментальних даних на рисунках 3.12 та 3.13, автор стверджує, що розрахунок гідростатичної сили у шпаринному ущільненні по методиці короткого ущільнення дає значно завищений результат, в той час як розбіжність між експериментальними даними та розрахунком по методиці з урахуванням

спірального руху рідини несуттєва. При цьому автор не наводить значення відносної похибки для вказаних варіантів.

4. На стор. 82 дисертаційної роботи інтерполювання табличних значень гідростатичної сили поліномами Лежандра потребує більш чіткого пояснення.

5. Читання автореферату ускладнюється тим, що частину величин і параметрів, що входять у формули не розшифровано.

6. На рисунку 5 автореферату доцільно було б побудувати криву, яка характеризує теоретичну жорсткість, одержану по методиці короткого ущільнення, як це зроблено у роботі.

7. В авторефераті в описі результатів четвертого розділу слід було більш докладно описати одержані в дисертації результати, що стосуються впливу шпаринних ущільнень довільної довжини на динаміку роторної системи (зменшення величин критичних швидкостей, зростання впливу на динаміку ротора перекосу осей ротора та втулки тощо).

Вказані недоліки не впливають на загальну позитивну оцінку роботи.

Висновок

Дисертаційна робота Беди О.І. «Динамічні характеристики ротора відцентрового насоса з урахуванням особливостей гідродинамічних процесів в шпаринних ущільненнях довільної довжини» відноситься до дисертацій теоретико-експериментального спрямування, є завершеною науковою працею, в якій отримано нові науково обґрунтовані результати, які в сукупності розв'язують комплекс науково-практичних завдань, пов'язаних з розрахунками динамічних характеристик роторів відцентрових насосів.

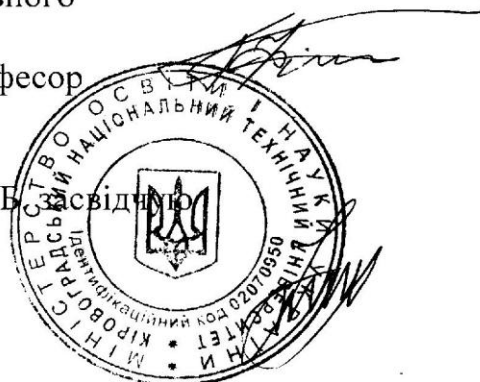
Дисертація відповідає вимогам п. 11 (та іншим) «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника», затвердженому постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24 липня 2013 р., які висуваються до кандидатських дисертацій та паспорту спеціальності 05.02.09 – динаміка та міцність машин, а її автор Беда Олександр Іванович заслуговує присудження йому наукового ступеня кандидата технічних наук із зазначеної спеціальності.

Офіційний опонент,
професор кафедри деталей машин
та прикладної механіки
Кіровоградського національного
технічного університету,
доктор технічних наук, професор

Г.Б.Філімоніхін

Підпис Філімоніхіна Г.Б.

проректор



В.М. Кропівний