

## ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

**Позовного Олександра Олександровича**

«Вплив багатошпаринних ущільнень на герметичність та вібронадійність  
відцентрових насосів»

представлену на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю

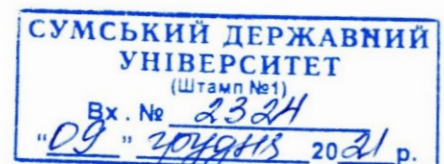
133 – Галузеве машинобудування

**Ступінь актуальності обраної теми.** Сучасні відцентрові насоси, що застосовуються для перекачування рідини, характеризуються підвищеними вимогами щодо забезпечення високої економічності та надійності, а також мінімізацією маси. Досягнення цих задач можливе за рахунок збільшення частоти обертання роторів та зменшення об'ємних втрат на міжступеневих та передніх шпаринних ущільненнях. Проте при збільшенні частоти обертання можуть виникати значні амплітуди коливань ротора високонапірного насоса, а підвищення ефективності ущільнень можливе за рахунок суттєвого вдосконалення конструкції.

Аналіз динаміки роторів має важливе значення при конструюванні відцентрових насосів. В таких машинах коливання ротора залежать як від механічних, технологічних та конструктивних, так і гідродинамічних факторів. Гідродинамічні сили, що виникають в ущільнюючих зазорах, залежать від характеру руху ротора, іншими словами орбіти. На даний час існує велика кількість теоретичних та експериментальних досліджень відносно процесів, що виникають в кільцевих ущільненнях, але вони обмежені дослідженнями саме для звичайних одношпаринних ущільнень. Дослідження ущільнень з декількома кільцевими шпаринами зі зміною напрямку руху рідини, обмежені аналізом радіальних гідростатичних сил. Об'єм теоретичних та експериментальних досліджень динамічних процесів в таких ущільненнях не достатній для розрахунку динамічних характеристик ротора насоса. Тому, саме дослідженню статичних та динамічних процесів в багатошпаринних ущільненнях і присвячена представлена дисертаційна робота. Це підтверджує актуальність, теоретичну та практичну значимість дисертаційної роботи Олександра Позовного.

**Ступінь обґрунтованості і достовірності наукових положень, висновків та рекомендацій.**

Науково-теоретичні положення, практичні висновки та рекомендації, що містяться в дисертації характеризуються високим ступенем обґрунтованості та носять практичний характер. Для їх отримання у дисертаційній роботі Олександра Позовного достатньому обсязі проведений огляд літературних джерел та розроблені методики аналітичного та числового розрахунку.



Кожен пункт наукової новизни достатньо підтверджений результатами теоретичних та експериментальних досліджень.

Висновки результатів дисертації є цілком обґрунтованими та в цілому описують результати розв'язання поставлених в роботі задач.

**Апробація дисертації та публікації.** Основні положення дисертації викладено та обговорено на наукових конференціях різного рівня: науково-технічній конференції викладачів, співробітників, аспірантів і студентів факультету технічних систем та енергоефективних технологій «Сучасні технології у промисловому виробництві» (м. Суми 2017); V-й Всеукраїнській міжвузівській науково-технічній конференції «Сучасні технології у промисловому виробництві» (м. Суми 2018); 6-й Міжнародній науково-технічній конференції «Теорія та практика раціонального проектування, виготовлення і експлуатації машинобудівних конструкцій» (м. Львів 2018); VI-й Всеукраїнській науково-технічній конференції «Сучасні технології у промисловому виробництві» (м. Суми 2019); VI-й Міжнародній конференції «Актуальні проблеми інженерної механіки» (м. Одеса 2019); VII-й Всеукраїнській науково-технічній конференції «Сучасні технології у промисловому виробництві» (м. Суми 2020); VIII-й Всеукраїнській науково-технічній конференції «Сучасні технології у промисловому виробництві» (м. Суми 2021).

Результати дисертаційної роботи опубліковано в 13 наукових працях, серед яких: 1 стаття, що індексується наукометричною базою Scopus та 2 статті у фахових виданнях; 2 розділи у колективних монографіях, один з яких індексується базою даних Scopus та Web of Science; 8 тез доповідей, представлених на 7 конференціях.

#### **Наукова новизна**

1. Набув подальшого розвитку аналітичний метод розрахунку динамічних характеристик двох- та трьохшпаринних ущільнень;
2. Вперше досліджено вплив радіального зміщення вала на величину витоків в трьохшпаринному ущільненні;
3. Вперше отримані результати числових та експериментальних досліджень, що дозволяють виконати аналіз гідродинамічних процесів в двох- та трьохшпаринних ущільненнях;
4. Вперше визначено вплив осьового розміру камер на радіальні сили в багатошпаринному ущільненні;
5. Вперше проаналізований вплив парних шпарин на розподіл гідростатичного тиску та швидкостей в трьохшпаринному ущільненні.

#### **Практичне значення роботи**

Дисертант запропонував аналітичний метод розрахунку коефіцієнтів жорсткості в трьохшпаринних ущільненнях зі збільшеними камерами, що дозволяє виконувати розрахунки динамічних характеристик ротора

відцентрового насоса з трьохшпаринними ущільненнями замість трьохшпаринних.

Результати дисертаційної роботи впроваджені в «Науково-дослідному і проектно-конструкторському інституті атомного та енергетичного насособудування» (АТ «ВНДІАЕН»), а також використовується в навчальному процесі кафедри комп'ютерної механіки імені Володимира Марцинковського.

**Оформлення дисертації** відповідає вимогам до такого виду робіт і наказу МОН України № 40 від 12.01.2017 р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

### **Оцінка змісту дисертаційної роботи**

Дисертаційна робота побудована за класичною схемою, вона складається з анотації на двох мовах, вступу, чотирьох розділів, висновків та списку літератури.

**У першому** розділі проведений аналіз літературних джерел за темою дисертації. Розглянуті існуючі методи математичного моделювання процесу взаємодії роторної частини зі статорною в місці встановлення кільцевих ущільнень. На основі аналізу джерел літератури автор робить висновок, що дослідження одношпаринних ущільнень має достатню кількість, як теоретичних, так і експериментальних результатів і вважається фактично завершеним. Відзначається можливість підвищення загального ККД відцентрових насосів за рахунок використання багатошпаринних ущільнень. Проте така конструкція може обумовлювати динамічну нестійкість ротора. Оскільки такі конструкції ущільнень малодосліджені, а їх розрахунок обмежується визначенням гідростатичної сили. Автором визначено необхідність подальших досліджень таких конструкцій. На основі огляду літератури поставлені завдання та мета досліджень.

**У другому** розділі приведений метод розрахунку радіальних гідродинамічних сил для двох- та трьохшпаринних ущільнень. Одержані умови стійкості одномасового неврівноваженого ротора в багатошпаринних ущільненнях, отримані амплітудні та фазові частотні характеристики. На основі приведених спрощених формул, виконано порівняння багатошпаринних ущільнень з одношпаринним ущільненням, яке показує явні переваги таких конструкцій.

**Третій** розділ, присвячений експериментальним дослідженням трьохшпаринних ущільнень. В експериментах без обертання вала отримані експериментальні розподіли гідростатичного тиску по довжині першої шпарини та значення витоків в залежності від радіального зміщення вала. Виконані дослідження з обертовим валом, внаслідок яких отримані амплітудно-частотні характеристики та величина витоків в залежності від частоти обертання. Порівняння результатів теоретичних розрахунків з експериментальними даними дає задовільний збіг. Проведені числові

експерименти як в статичній, так і динамічній постановках. Розподіли гідродинамічного тиску по довжині шпарини та величини витоків мають задовільну збіжність між числовими та експериментальними результатами досліджень. При визначенні гідродинамічних сил в нестационарній постановці, виконана ідентифікація динамічних коефіцієнтів жорсткостей та демпфірувань для різних конструкцій. Проведені дослідження нових конструкцій трьохшпаринних ущільнень, на основі результатів яких можливе краще розуміння гідродинамічних процесів, які відбуваються в з'єднувальних камерах багатошпаринних ущільнень.

**Четвертий** розділ присвячений розрахунковим дослідженням двохшпаринного ущільнення з різною геометрією з'єднувальних камер. Отримані значення коефіцієнтів гідродинамічних сил в залежності від конструкції та осьового розміру камери. Здобувачем з'ясовано, що на величину та напрямок гідродинамічних сил впливає саме геометрія з'єднувальних камер ущільнення. На основі результатів досліджень двохшпаринних ущільнень видані рекомендації по їх розрахунку і конструюванню.

**Висновки** за дисертаційною роботою підсумовують результати досліджень та відповідають її змісту та поставленим завданням.

**За дисертацією можна зробити наступні зауваження:**

1. В роботі (розділ 2.4) розглянуто аналіз динамічної стійкості конкретного ротора в багатошпаринному ущільненні, але не показано границі стійкості та не вказано за рахунок зміни яких параметрів система може втратити стійкість.
2. Практична цінність даної роботи повинна була би бути доповнена розрахунком економічного ефекту від використання в конструкції відцентрового насоса трьохшпаринного ущільнення замість одношпаринного.
3. Пункт 2.4, останній абзац – вказано, що «інерційні сили (гіроскопічна і сила інерції), зважаючи на їх відносно малі значення, не враховуються». Виникає питання, інерційні сили чого саме не враховуються: ротора чи рідини, що знаходиться в кільцевому ущільненні?
4. Посилання на рисунок 2.6 йде після самого рисунка.
5. По тексту розділу 2.7 не зрозуміло де саме встановлюються одно-, дво- та трьохшпаринні ущільнення в конструкції приведенного відцентрового насоса.
6. В розділі 2.7 приведено «густина  $\rho = 10^3 \text{ Па} \cdot \text{с}$ », тобто густина з розмірністю в'язкості.
7. В роботі приведено аналітичний метод розрахунку «прямих» коефіцієнтів жорсткості в трьохшпаринних ущільненнях, але не

приведено такого методу для розрахунку «прямих» коефіцієнтів демпфування. Числове моделювання гідродинамічних характеристик шпаринних ущільнень за допомогою різних програмних комплексів значною мірою підвищить термін розрахунків динамічних характеристик ротора, що матиме негативні наслідки або для виробника, або для кінцевого споживача насосного обладнання.

## ВИСНОВОК

Дисертаційна робота Позовного Олександра Олександровича «Вплив багатощаринних ущільнень на герметичність та вібронадійність відцентрових насосів» є завершеним науковим дослідженням, яке спрямоване на отримання нових науково обґрунтованих теоретичних та експериментальних результатів, та в сукупності розв'язує науково-практичні завдання, пов'язані з забезпеченням герметичності та вібронадійності відцентрових насосів.

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

Офіційний опонент,

к.т.н, завідувач лабораторії

динаміки та вібродіагностики

АТ «ВНДІАЕН»



Андрій Ященко  
Тігун  
Юрська  
Смир.  
Вулиця  
Степанівська  
№ 10  
м. Суми