

В спеціалізовану вчену раду  
К55.051.03 при Сумському  
державному університеті

## **ВІДГУК**

офіційного опонента доктора технічних наук

**Парафійника Володимира Петровича**

на дисертаційну роботу

**Баги Вадима Миколайовича**

**«Удосконалення методів розрахунку та проектування лабіринтних  
ущільнень валів пневмоагрегатів на основі моделювання робочого  
процесу».**

представлену на здобуття наукового ступеня

кандидата технічних наук за спеціальністю

**05.05.17 – «Гідравлічні машини та гідропневмоагрегати»**

Дисертація Баги В.М. присвячена поглибленому дослідженню методами числового та фізичного експерименту особливостей робочого процесу лабіринтних ущільнень валів пневмоагрегатів на основі розробки моделі робочого процесу, методик та рекомендацій для їх проектування. Робота виконана на кафедрі технічної теплофізики Сумського державного університету.

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

Актуальність представленої дисертаційної роботи обумовлена необхідністю забезпечення процесів герметизації, підвищення ефективності та надійності роботи вузлів пневмосистем різного призначення.

Вже більш як 100 років лабіринтні ущільнення використовуються в гідравлічних та пневматичних системах. З моменту створення їх конструкція зазнавала різних удосконалень, які, як правило, приводили до ускладнення їх конструкції, технології виготовлення та монтажу. Найбільш простими та надійними є конструкції лабіринтних ущільнень з гладким валом, які в більшій мірі і досліджувалися автором дисертаційної роботи.

Актуальність теми дисертації полягає в пошуку і використанні резервів підвищення ефективності лабіринтних ущільнень з гладким валом та удосконаленні методів їх розрахунку.

## **2. Наукова новизна.**

Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному:

- уточненні фізичної картини процесів з виявленням характеру зміни параметрів потоку робочого середовища, що дало змогу уточнити математичну модель течії;
- вирішенні задачі верифікації математичної моделі робочого процесу лабіринтного ущільнення на основі результатів експериментального дослідження з урахуванням раніше ігнорованих чинників: частоти обертання, масштабних факторів та критеріїв подібності;
- проведенні порівняльного числового та експериментального аналізу впливу властивостей газів на характеристики ущільнення;
- наданні практичних рекомендацій по вдосконаленню вузлів обладнання, яке створюється на основі лабіринтних ущільнень.

## **3. Практична значимість.**

Розроблені методичні основи для розрахунку та удосконалення процесу проектування лабіринтних ущільнень з гладким валом, створена методика поелементного розрахунку гідравлічних втрат в ущільненні. Створена модель робочого процесу лабіринтного ущільнення на основі використання програмного комплексу FlowVision, що дає можливість на її основі вирішувати типові задачі при проектуванні ущільнень.

Результати дисертаційної роботи впроваджені в машинобудуванні та навчальному процесі СумДУ, що підтверджується відповідними актами.

Достовірність результатів, одержаних автором, забезпечується використанням класичних положень газодинаміки при використанні обчислень, а також фізичного експерименту, що дозволив оцінити ефективність нових конструкцій лабіринтних ущільнень. В зв'язку з цим вважаю тему дисертаційної роботи Баги В.М., присвячену удосконаленню методів розрахунку та проектування лабіринтних ущільнень пневмоагрегатів, актуальною і як такою, що має практичне значення.

## **4. Зміст роботи.**

Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаної літератури і трьох додатків. Текст дисертації викладений на 166 сторінках, у тому числі 71 рисунок та 26 таблиць. В додатках наведені акти, що підтверджують впровадження основних результатів дисертаційної роботи на підприємствах машинобудування і в

навчальному процесі кафедри технічної теплофізики Сумського державного університету.

### Вступ

У вступі міститься аргументація щодо актуальності питання дослідження робочого процесу в лабіринтних ущільненнях валів пневмоагрегатів. Показано зв'язок дисертаційної роботи з науковими програмами, що виконувалися на кафедрі СумДУ згідно з державною науково-дослідною програмою на тему: «Дослідження робочих процесів в енергетичних машинах» (номер державної реєстрації 0110U004210). Визначено об'єкт та предмет дослідження, а також розглядаються методи дослідження. Показана наукова новизна і практичне значення отриманих автором результатів. Відзначається особистий внесок здобувача, результати апробації дисертаційної роботи і публікації основних результатів. Структура викладення основних положень відповідає вимогам.

### Розділ 1

У першому розділі виконана загальна класифікація існуючих конструкцій ущільнень, в тому числі лабіринтних, а також розглянуті особливості їх конструкцій; показаний значний вплив негерметичності лабіринтних ущільнень пневмоагрегатів та елементів проточної частини відцентрових компресорів на їх к.к.д. Викладено класичні підходи до розрахунку та проектуванню лабіринтних ущільнень. Розглянуто вплив конструктивних параметрів ущільнень на їх роботу.

Наведені результати інформаційного огляду літературних джерел за проблемою дисертаційного дослідження дозволили сформулювати мету дослідження і завдання, які вирішувалися для її досягнення.

### Розділ 2

Розділ присвячений удосконаленню методів математичного і фізичного моделювання, описанню методів дослідження, конструкції експериментальної установки та використаних вимірювальних приладів. Приведений опис методичних основ числового моделювання, обґрунтовано вибір густини розрахункової сітки та моделі турбулентності. Особливістю експериментальної установки є можливість роботи ущільнень зі зміною їх робочої частини, а також можливості змінювати умови та режими випробувань: стенд дозволяє проводити дослідження при різних значеннях частоти обертання вала, змінювати ексцентриситет, забезпечує реверсивність обертання та заміну робочого середовища.

Наводяться методики обробки результатів експерименту та оцінки похибок експериментальних вимірювань. У відповідності до поставлених

задач наводиться програма експериментальних досліджень вузла лабіринтного ущільнення.

### Розділ 3

У третьому розділі виконано числове дослідження робочого процесу в лабіринтному ущільненні. Представлені результати дослідження ряду спрощених моделей: кільцева щілина, плоска щілина, отвір, ізольована щілина під гребенем у необмеженому та обмеженому просторах, камера між двома гребенями та інші, за результатами якого встановлена їх невідповідність загальноприйнятій моделі розрахунку лабіринтних ущільнень, як ряд послідовно встановлених отворів. Запропонований поелементний підхід дослідження дав змогу встановити нерівномірний розподіл тиску по гребеням ущільнення, який є причиною нерівномірності локальних коефіцієнтів витрат. Розрахунковим та експериментальним шляхом встановлена наявність зміни параметрів течії в ущільненні. Вирішена задача верифікації математичної моделі робочого процесу лабіринтного ущільнення з гладким валом за результатами експериментального дослідження.

### Розділ 4

У четвертому розділі викладені результати числового та експериментального досліджень, виконаних у відповідності до програми. Представлені результати дослідження впливу частоти обертання вала, масштабного фактора, ексцентриситета, фізичних властивостей деяких газів та конструктивних факторів на витратні характеристики лабіринтного ущільнення. Наведені графічні залежності по вибору оптимальних значень кроку  $t$  та висоти  $h$  гребенів лабіринтних ущільнень з гладким валом. Верифікація проводилася шляхом порівняння основних результатів розрахунку з результатами експериментального дослідження, що дало задовільний збіг експериментальних та розрахункових даних.

Запропонована конструкція лабіринтного ущільнення з поступово зростаючим об'ємом розширювальних камер за рахунок варіювання кроком  $t$  та висотою його гребенів  $h$ . Виконана оптимізація конструкції лабіринтного ущільнення при заданій довжині. Експериментальним та розрахунковим шляхом оцінений вплив фізичних властивостей деяких газів, що використовуються в різних технологічних процесах на характеристики ущільнення.

### **5. Зауваження до змісту дисертації.**

По змісту дисертації та вступній частині слід зробити наступні зауваження:

1. Матеріали вступних частин до розділів доцільно було б викласти в оглядовій частині дисертації.

2. Пункт 4.5 було б доцільно об'єднати з п. 4.6, сформулювавши його як «Висновки і практичні рекомендації».

3. «Мета і завдання дослідження» сформульовані в першій частині, слід було це вказати у вступній частині.

4. В розділі вступної частини «Практичне значення одержаних результатів» не вказане використання роботи на машинобудівних підприємствах, незважаючи на те, що відповідні акти впровадження представлені в додатках 2 і 3.

## **6. Зауваження до тексту дисертації**

### *Розділ 1:*

1. Доцільно було б на рис. 1.1. навести більш розширену класифікацію лабіринтних ущільнень.

2. При огляді літературних джерел необхідно було б приділити увагу працям, які виконані в останні роки: роботи Коновалова Р.М. (Експериментальні дослідження витратних та динамічних характеристик ущільнень для ступенів з повним та парціальним підводом пари, НТУ-МЕІ); Брикiна Б.В. (Моделювання характеристик повітряних ущільнень ГТД методами обчислювальної газодинаміки, МАІ).

### *Розділ 2:*

1. На наш погляд п. 2.2 доцільно була б назвати «Методичні основи числового дослідження».

2. Замість терміну універсальна експериментальна установка слід було використовувати термін “уніфікований стенд”.

3. При виконанні аналізу особливостей фізичного моделювання (п.п. 2.3.3; рис. 2.10, 2.11) не обґрунтована методика апроксимації і статистичної обробки одержаних результатів.

### *Розділ 3:*

1. Автор одержав значний об'єм експериментальних даних по розподілу тиску в ущільненні з  $D=240$  мм (табл. 3.1; 3.2; 3.3; 3.4) при різних частотах обертання вала та перепадах тисків  $P_1/P_2$ , але аналіз цих даних на наш погляд недостатній.

2. Автор дисертації критикує А. Стодолу, вважаючи його залежність «штучною конструкцією», а коефіцієнти витрат, одержані з її використанням, умовними (стор. 78). В зв'язку з цим слід мати на увазі, що коли ми використовуємо, наприклад, адіабатичний к.к.д. для аналізу

ефективності компресора чи турбіни, то ми також допускаємо умовність, але вона широко використовується.

#### Розділ 4:

1. Не всі параметри в табл. 4.4 мають розмірність.
2. Дані про дослідження впливу фізичних властивостей газів одержані при незначних перепадах тільки для двох робочих середовищ – водяна пара і повітря.
3. Результати розрахунків, приведені в п.п. 4.5.2, що присвячений розробці практичних рекомендацій на прикладі відцентрового компресора для агрегата ТКА-Ц-25С/4,2-29,7М1 (КС «Сарадже», Республіка Іран), що створений в ПАТ «Сумське НВО ім. М.В. Фрунзе», потребують деякого уточнення.

### 7. Зауваження до змісту і оформлення автореферата

В цілому автор в авторефераті в повній мірі відображає зміст дисертації, його оформлення відповідає встановленим вимогам, але маю деякі зауваження:

1. Сторінка 5 (1 абзац) – висновок про те, що «системні дослідження лабіринтних ущільнень не проводилися» потребує уточнення.
2. Не указано, якими умовами роботи пневмосистем (тиск, температура, витрати) відповідають значення критеріїв  $E_u$  і  $Re$ , представлених на рис. 2. Також не указано наскільки універсальною, виходячи з режимів роботи ущільнень, є критеріальна залежність (7).
3. В розділі 3 (стор 7÷12) приведені нові результати про пікові зміни величини коефіцієнта витрат вздовж ущільнення (рис. 7). Було б важливо, використовуючи сучасні можливості, виявити величину флуктуації параметрів робочого середовища в камерах ущільнення.

Зауваження зроблені до дисертації та автореферату свідчать про складність і багатогранність дисертаційної роботи. Тематика роботи заслуговує подальшого розвитку з використанням більш складного експериментального обладнання.

### 8. Загальні зауваження по оформленню тексту дисертації:

1. Автором допускаються термінологічні помилки, наприклад: стор. 77 – «розрахункова методика», – замість методика розрахунку;
2. Деякі індекси, якими користується автор, не внесені в відповідний розділ.
3. Слід відзначити ряд орфографічних та граматичних помилок, які, однак, не викривляють суті роботи.

## 9. Висновок.

Виконаний аналіз змісту дисертації Баги В.М. «Удосконалення методів розрахунку та проектування лабіринтних ущільнень валів пневмоагрегатів на основі моделювання робочого процесу» дозволяє зробити такі висновки:

1. Тема дисертаційної роботи є актуальною і відповідає спеціальності 05.05.17 – «гідравлічні машини та гідропневмоагрегати».

2. Результати, представлені автором у дисертаційній роботі, мають наукову новизну і практичну цінність.

3. Результати дослідження підтверджено експериментально.

4. Основні результати дисертаційної роботи викладені в 6 статтях у спеціалізованих виданнях, що входять у перелік затверджений Міністерством освіти і науки; одна стаття опублікована в зарубіжному виданні, що входить до наукометричної бази даних Scopus.

Результати дисертації апробовані на 3 міжнародних науково-технічних конференціях, 2 всеукраїнських та науково – технічній конференції СумДУ.

5. Викладення основних матеріалів в дисертації прийнятне для розуміння. Роботу виконано у відповідності з правилами оформлення текстової і графічної документації.

6. Автореферат в достатній мірі висвітлює зміст дисертаційної роботи та є ідентичним основним її положенням.

7. Незважаючи на зауваження, слід відзначити наукову цінність і практичну значимість результатів роботи. Дисертацію «Удосконалення методів розрахунку та проектування лабіринтних ущільнень валів пневмоагрегатів на основі моделювання робочого процесу» можна вважати завершеним дослідженням, що відповідає вимогам п. 13 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника» стосовно до кандидатських дисертацій, а її автор Бага Вадим Миколайович заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук зі спеціальності 05.05.17 – «гідравлічні машини та гідропневмоагрегати».

Офіційний опонент,  
провідний науковий співробітник  
Спеціально конструкторського бюро  
ПАТ «Сумське НВО ім. М.В. Фрунзе»,  
доктор технічних наук,  
старший науковий співробітник

В.П. Парафійник

Підпис провідного наукового  
співробітника Парафійника В.П. засвідчує  
Інспектор канцелярії

О.Б. Сичьова

