

## ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу **Мерзлякова Юрія Сергійовича** «Робочий процес рідинно-парового струминного апарата вихрового типу», що представлена на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук зі спеціальності 05.05.17 – гідравлічні машини та гідропневмоагрегати

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

Незважаючи на значну кількість теоретичних та експериментальних досліджень рідинно-парових струминних апаратів (РПСА), існує необхідність у їх більш детальному вивченню, що пов'язано зі складністю процесів, які мають місце у сильно прискорених потоках скипаючої рідини. На відміну від пароежекторних та пароструминних апаратів, у яких для створення робочого середовища використовуються парогенератори, у рідинно-парових струминних апаратах генерація робочої пари здійснюється безпосередньо у потоці скипаючої рідини. Це дозволяє спростити технологічні схеми, але обумовлює додаткову складність дослідження робочого процесу РПСА. Для існуючих схем прямоструминних апаратів відома проблема, яка пов'язана з незалежністю розмірів частинок рідкої та парової фаз від діаметру критичного перерізу сопла активного потоку, що приводить до збільшення повздовжніх розмірів апарату для завершення процесу релаксаційного пароутворення у каналі робочого сопла.

Метою дисертаційної роботи Мерзлякова Ю.С. є розширення функціональних можливостей рідинно-парових струминних апаратів шляхом застосування процесу скипання рідини у вихровому потоці. Наявність такої мети обумовлена тим, що при створенні РПСА прямоосного типу з порівняно невеликою продуктивністю виникає проблема пов'язана із впливом масштабного фактору на умови розвитку потоку скипаючої рідини у каналі робочого сопла активного потоку, що розширюється. За рахунок застосування процесу скипання рідини у вихровому потоці можливе зменшення впливу масштабного чинника, що обумовлено наявністю вихрової камери, розміри якої у багато разів перевищують діаметр критичного перерізу сопла активного потоку.

Таким чином, дисертаційна робота здобувача на тему «Робочий процес рідинно-парового струминного апарата вихрового типу» є актуальною і в повній мірі відповідає інтересу сучасної науки.

### **2. Основні наукові положення, що виносяться на захист.**

На захист дисертаційної роботи здобувач виносить наступні наукові положення:

- сформована та емпірично підтверджена теплофізична модель кипіння рідини у полі відцентрових сил для вихрових апаратів, що працюють на скипаючій рідині;

- уточнена фізична картина та математична модель процесів у рідинно-паровому струминному апараті вихрового типу, що дозволило отримати його параметри і основні характеристики;

- результати дослідження впливу косого зрізу сопла активного потоку на формування робочого вихрового потоку у рідинно-паровому струминному апараті вихрового типу;

- встановлені закономірності впливу початкових термічних і геометричних параметрів на ефективність процесу пароутворення у вихровому потоці, що дозволили визначити зону режимних параметрів, які відповідають максимальним значенням коефіцієнта інжекції та показникам ефективності рідинно-парового струминного апарата вихрового типу.

Усі наукові положення, оприлюднені автором, мають наукову новизну та значимість, практичну цінність, логічне узагальнення та правильні, адекватні висновки. Все це у сукупності складає дисертацію на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук.

### **3. Практичне значення отриманих результатів.**

До практичної новизни результатів дисертації можна віднести:

- створено алгоритм розрахунку та програму, яка реалізує процес течії скипаючої рідини у рідинно-паровому струминному апараті вихрового типу; це дозволяє вже на стадії проектування визначати його основні параметри і характеристики;

- створену методику інженерного розрахунку параметрів і характеристик рідинно-парового струминного апарата вихрового типу, що має практичну цінність при розробці подібних апаратів;

- приведено спосіб релаксаційного пароутворення у рідинно-паровому струминному апараті вихрового типу;

- створено експериментальний стенд для дослідження робочого процесу рідинно-парового струминного апарата вихрового типу;

Дисертаційна робота виконувалась у рамках держбюджетних науково-дослідних робіт:

- «Розробка струминного понижуючого термотрансформатора для систем ефективного теплопостачання комунальних господарств України» (замовник – Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України, номер державної реєстрації 0110U001150);

- «Створення демонстраційного зразка струминного термотрансформатора для систем тепло- і холодопостачання комунальних і промислових господарств України» (замовник – Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України, номер державної реєстрації 0112U001386);

- «Дослідження робочих процесів енергетичних машин» ( номер державної реєстрації № 0110U004210).

Враховуючи перелічене, дисертаційна робота Мерзлякова Ю.С. дійсно має практичне значення і її результати можуть використовуватися як для подальшого поглибленого вивчення процесів так і проектування рідинно-парових струминних апаратів з вихровим принципом дії.

#### **4. Структура дисертації.**

На відгук представлена дисертація на 185 сторінках (58 рисунків, 11 таблиць, бібліографія із 172 джерел на 17 сторінках, 5 додатків на 6 сторінках) та автореферат на 21 сторінці.

Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків, що підтверджують впровадження результатів дисертаційної роботи на підприємствах та у навчальному процесі на факультеті технічних систем та енергоефективних технологій Сумського державного університету.

#### **Вступ.**

У вступі автором сформульована актуальність проведення дослідження робочого процесу рідинно-парового струминного апарата вихрового типу, поставлені мета і завдання дослідження. Визначено об'єкт, предмет і методи дослідження, розкрито наукову новизну і практичне значення отриманих результатів. Визначений особистий внесок здобувача в отримані результати, подано відомості про апробацію та впровадження результатів дисертації, наведена структура і обсяг дисертації.

#### **Розділ 1.**

У першому розділі «Огляд літературних джерел, мета і завдання дослідження» автором:

- проведений огляд основних етапів розвитку теорій опису вихрового руху починаючи з XVII століття. Наведені посилання на основні літературні джерела, що відображають хронологію розвитку та основні аспекти теорій вихору. Окремо виділені роботи, присвячені дослідженню вихрового ефекту Ранка, газодинамічного процесу енергорозділення в закрученому потоці в'язкого газу. Також автором розглянуті та систематизовані існуючі способи створення закрученого потоку. Приведений детальний опис та схема кожного із відомих способів і пристроїв для закручування потоку, визначені переваги та недоліки кожного з них;

- проведено аналіз існуючих моделей течії потоків, що стискаються, у ежекторних апаратах. Наведена схема пряموструминного апарата та детально описаний його робочий процес та методика розрахунку. Окрему увагу автора в даному розділі приділено струминним апаратам, що використовують як активний потік недогріту до стану насичення скипаючу рідину. Наведені схеми та описані існуючі моделі течії потоків, що стискаються, у вихрових апаратах.

- досліджено методи та пристрої експериментального дослідження вихрових потоків. Розглянуті особливості вимірювання параметрів тривимірного потоку за допомогою термоанемометрів, лазерних доплерівських вимірювачів швидкості та візуалізаторів. Представлений опис пристроїв для вимірювань усереднених полів тисків з використанням трубок повного і статичного тиску та комбінованих зондів.

За результатами першого розділу зроблені відповідні висновки, поставлена мета дослідження та завдання для її досягнення.

## Розділ 2.

У другому розділі «Моделювання робочого процесу рідинно-парового струминного апарата вихрового типу» автором:

- представлені загальні положення моделі робочого процесу РПСА вихрового типу. Наведена розрахункова схема РПСА вихрового типу з вказаними характерними перерізами вихрової камери та основними геометричними та кінематичними параметрами. Достатню увагу також приділено основним припущенням і обмеженням, які вводяться до запропонованої моделі;

- досліджено вплив косоного зрізу сопла активного потоку на формування робочого вихрового потоку у РПСА вихрового типу. Розглянуто схему відхилення потоку у косому зрізі надзвукової ділянки сопла Лаваля, яка має певний кут конусності. Для цього випадку визначено кут відхилення потоку від тангенціального напрямку та порівняно його з випадком відхилення потоку у косому зрізі простого сопла;

- представлена термодинамічна модель робочого процесу рідинно-парового струминного апарата вихрового типу, схема і цикл РПСАвт у складі струминного термокомпресорного модуля. Особливу увагу приділено структурним перетворенням скипаючої рідини у вхідному перерізі вихрової камери. Отримано у безрозмірному вигляді радіус початку пристінного бульбашкового кипіння у вихровому потоці в залежності від безрозмірного критерію Ейлера (рівняння 2.42). Отримано також рівняння спіральної траєкторії обертового активного потоку у циліндричних координатах та рівняння його кроку (2.66 та 2.70 відповідно). Визначено рівняння абсолютної швидкості інжектваного пасивного потоку (2.85);

- приведено методичку розрахунку внутрішніх характеристик процесу кипіння рідини у вихровому потоці, а саме: швидкості зростання парової бульбашки, числа діючих на одиниці площі поверхні центрів пароутворення, частоти відриву парової бульбашки та діаметра парової бульбашки при відриві від поверхні;

- проведено ексергетичний аналіз ефективності РПСА вихрового типу за методикою Дж. Тсатсароніса, наведена схема ексергетичних потоків у РПСА вихрового типу та зроблені висновки за розділом.

### Розділ 3.

У третьому розділі «Експериментальна установка для досліджень рідинно-парового струминного апарата вихрового типу» автором:

- представлено схему та опис конструкції експериментальної установки для дослідження робочого процесу РПСА вихрового типу. Встановлено метод вимірювання повного і статичного тиску та одночасного визначення напрямку вектору швидкості потоку за допомогою трьохканального циліндричного зонда. Представлена методика проведення експериментальних досліджень. Проведено обробку результатів експериментальних досліджень, виконано оцінювання похибок прямих і непрямих вимірювань, зроблені висновки за розділом.

### Розділ 4.

У четвертому розділі «Результати експериментальних досліджень» автором:

- представлено моделювання течії скипаючого потоку у каналі сопла, що розширюється, за допомогою програмного комплексу Ansys CFX, що відповідає теоретичній картині течії у косому зрізі описаній раніше. З урахуванням результатів розрахунків, отриманих за допомогою програмного комплексу Ansys CFX, в роботі представлені експериментальні дані для сопла активного потоку із діаметром критичного перерізу  $d_r = 4,1$  мм і  $d_r = 2,3$  мм для трьох рівнів недогрівання рідини перед соплом у діапазоні початкових тисків  $p_{01} = 5 - 20$  бар. Зроблено порівняння на основі фотозйомки візуалізацій відхилення скипаючого потоку у косому зрізі сопла, що розширюється та побудовані графіки залежності кута відхилення потоку від режимних та геометричних параметрів сопла;

- окремо виділені результати експериментальних досліджень вихрової камери РПСА вихрового типу. Для перевірки адекватності теплофізичної та математичної моделей робочого процесу наведено розрахунок і візуалізацію течії скипаючого потоку у проточних частинах апарату з використанням програмного комплексу Ansys CFX. Отримана візуальна картина течії відповідає теоретичному опису процесів, що відбуваються. Представлено експериментальні дані вимірювань розподілу повних тисків по колу вихрової камери, наведено фотографії візуалізацій потоку у вхідному та вихідному перерізах вихрової камери РПСА. Отримано експериментальні характеристики РПСА вихрового типу: повного тиску у вихровій камері, досяжних показників глибини розрідження на осі вихрової камери, повних температур на осі вихрової камери та ексергетичної ефективності РПСА вихрового типу;

- автором надано практичні рекомендації до проектування РПСА вихрового типу, що включають геометричні співвідношення основних елементів проточної частини апарату. Зроблені відповідні висновки до розділу.

## 5. Основні зауваження.

За текстом дисертаційної роботи вважаю доцільним зробити наступні зауваження:

1. Усі дослідження та розрахункові залежності автором були отримані для робочого тіла води. Чи може бути застосована запропонована автором методика розрахунку РПСА вихрового типу для інших робочих речовин?

2. Автором не вказана доцільність вибору саме такого діапазону початкових тисків перед соплом активного потоку ( $p_{01} = 5 - 20$  бар). Чи можливе використання отриманих розрахункових залежностей для інших відповідних значень тисків?

3. У розділі 4 дисертаційної роботи відсутня інформація щодо верифікації числового моделювання витікання скипаючого потоку у програмному комплексі Ansys CFX. Складність характеру реальних процесів, що розглядаються, потребує чіткого й достовірного розуміння обраних параметрів розрахунку.

4. Не зроблена спроба апроксимувати отримані експериментальні характеристики (рисунк 4.22).

5. У дисертаційній роботі відсутнє дослідження ексергетичної ефективності елементів струминного термокомпресорного модуля.

6. Робота не позбавлена деяких орфографічних та стилістичних помилок та описок, які, врешті решт, не впливають на сприйняття та розуміння викладеного матеріалу.

За змістом автореферату дисертації можу зробити наступні зауваження:

1. В 3-му пункті «Мета і завдання дослідження» (стор. 2), йдеться мова про «вплив початкових термічних і геометричних параметрів на ефективність процесу пароутворення у вихровому потоці». З тексту не зрозуміло про яку саме ефективність іде мова.

2. На *рисунку 11* апроксимація експериментально визначених точок коефіцієнту інжекції та ексергетичної ефективності виходить за межі граничних вимірів.

3. У третьому розділі доцільно було б привести схему експериментальної установки, або її фотографію.

## 6. Загальні висновки.

1. Дисертаційна робота Мерзлякова Ю.С. «Робочий процес рідинно-парового струминного апарата вихрового типу» виконана у відповідності з вимогами, які пред'являються до оформлення дисертаційних робіт.

2. Тема дисертаційної роботи є актуальною та за змістом відповідає спеціальності 05.05.17 – гідравлічні машини та гідропневмоагрегати.

3. Основні наукові положення, що виносяться автором на захист, мають наукову новизну.

4. Отримані у роботі результати мають високе практичне значення.

5. Дисертація написана на високому науковому рівні, з використанням сучасного математичного апарату. Стиль викладення результатів досліджень,

наукових положень, висновків та рекомендацій забезпечує достатню легкість і доступність їх сприйняття. Рукопис дисертаційної роботи Мерзлякова Ю.С. оформлено грамотно і охайно з незначними помарками.

6. Зміст автореферату повністю відповідає основним положенням дисертаційної роботи.

Дисертаційна робота Мерзлякова Ю. С. на тему: «Робочий процес рідинно-парового струминного апарата вихрового типу» є завершеним науковим дослідженням, тема дисертації має актуальність, наукове та практичне значення, виконана на високому науковому рівні та відповідає паспорту спеціальності 05.05.17 – гідравлічні машини та гідропневмоагрегати та положенням Департаменту атестації кадрів вищої кваліфікації та ліцензування Міністерства освіти і науки України про порядок присудження наукових ступенів. Її автор, Мерзляков Юрій Сергійович, заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук зі спеціальності 05.05.17 – гідравлічні машини та гідропневмоагрегати.

Офіційний опонент  
кандидат технічних наук,  
технолог керівництва виробництвом  
АТ «Технологія»



О. С. Бережний

*Доброго вечора, технологів АТ "Технологія"  
засвідчую.*

*Томова Любовина*  
*ДП "Технологія"*

*В.М. Мерзляк*

