

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**

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.

1. Актуальність теми дисертації.

Вітчизняне машинобудування характеризується широкою номенклатурою виробів, оснований на використанні вихрових потоків. Це як сепараційне обладнання для різних галузей промисловості, так і системи охолодження лопаток високотемпературних газових турбін.

З наукової точки зору, дослідження вихрових потоків завжди представляють інтерес в зв'язку зі складністю процесів, що відбуваються у тривимірних потоках, їх різноманітністю та можливістю одержання важливих результатів для їх подальшого впровадження в практичні розробки.

Сучасні технології дозволяють моделювати складні тривимірні течії за допомогою спеціальних програмних комплексів, що поряд із фізичним експериментом підсилює значення отриманих результатів. Дисертаційна робота Мерзлякова Ю.С. присвячена моделюванню робочого процесу рідинно-парового струминного апарата (РПСА) вихрового типу. Особливістю роботи є моделювання течії двофазного середовища у вихровому потоці, що супроводжується його високою швидкістю і турбулентністю, а також великими радіальними градієнтами температури та тиску. Домінування інерційних сил у механізмі зародження і зростання парової фази також призводить до розділення потоку у вихровій камері апарату на периферійний та приосьовий із невпорядкованою структурою рідкої та парової фаз. Проведений автором аналіз літературних джерел показав, що досліджень процесу адіабатного кипіння рідини у полі відцентрових сил не проводилося. Важливим також є той факт, що у відомих роботах по вивченню тепловіддачі при кипінні у полі відцентрових сил кріогенних і некріогенних рідин використовувався нагрівач, що забезпечував точковий центр кипіння. Відповідно, процес кипіння здійснювався за допомогою теплоти, підведеної від нагрівача, що принципово відрізняється від процесу адіабатного кипіння рідини у полі відцентрових сил.

Метою дисертаційної роботи є розширення функціональних можливостей рідинно-парових струминних апаратів шляхом застосування процесу скипання рідини у вихровому потоці та розробка методики

розрахунку РПСА для їх подальшого, більш широкого використання в виробках машинобудування.

Поставлена мета досягається за допомогою створення теплофізичної та уточненої на її основі математичної моделей процесу релаксаційного пароутворення у вихровому потоці на основі встановлення характеру та особливостей процесів, що відбуваються у проточних частинах РПСА вихрового типу, а також розробкою методики розрахунку геометричних характеристик апарату та проведенням експериментальних досліджень. Таким чином, актуальність теми, представленої роботи, не викликає сумніву.

Дисертація за своїм змістом відповідає паспорту спеціальності 05.05.17 – гідравлічні машини та гідропневмоагрегати ДАК вищої кваліфікації МОН України.

2. Основні наукові положення, що виносяться на захист.

Зі змісту дисертації витікає, що здобувачем виносяться на захист наступні наукові положення, одержані в процесі дослідження РПСА вихрового типу:

- створена теплофізична модель кипіння рідини у полі відцентрових сил для вихрових апаратів, що працюють на скипаючій рідині, яка дозволила уточнити фізичну картину робочих процесів;
- уточнена математична модель робочого процесу, що дозволило визначити параметри і характеристики апарата;
- результати дослідження впливу косого зрізу сопла активного потоку на формування робочого вихрового потоку;
- методичні підходи та результати експериментального дослідження робочого процесу експериментального зразка;
- встановлені закономірності впливу початкових термічних параметрів на ефективність процесу пароутворення у вихровому потоці, що дозволили визначити зону режимних параметрів, які відповідають максимальним значенням коефіцієнта інжекції та показникам ефективності апарата вихрового типу.

Усі наукові положення, що винесені на захист мають наукову новизну, наукову та практичну значимість, за кожним із них велика творча робота дисертанта, аналіз та висновки, що у сукупності об'єктивно складають дисертацію на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук.

3. Практичне значення отриманих результатів.

До практичного значення можна віднести наступні результати, одержані при виконанні дисертаційної роботи:

- новостворений алгоритм розрахунку та програмну реалізацію процесу течії скипаючої рідини у РПСА вихрового типу, що дозволяє вже на стадії проектування визначати його основні параметри і характеристики;

- створену методику інженерного розрахунку параметрів і характеристик РПСА вихрового типу, що має практичну цінність при розробці таких апаратів;
- створений експериментальний стенд для дослідження робочого процесу рідинно-парового струминного апарата вихрового типу;
- запатентовано спосіб релаксаційного пароутворення в РПСА на основі скипання рідини у вихровому потоці.

Ці результати отримані при проведенні досліджень в доволі широких організаційних рамках, в тому числі і 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 це, дисертаційна робота Мерзлякова Ю.С. має науково-практичну направленість і значення, а її результати можуть використовуватися для проектування рідинно-парових струминних апаратів з вихровим принципом дії.

4. Структура дисертації.

Дисертація 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 чітко та обґрунтовано 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. Відмічено особистий внесок здобувача в досягнуті результати, подано відомості про публікації дисертанта, в тому числі у журналі, що індексується базою Scopus, апробацію та впровадження результатів дисертації, наведена структура і обсяг дисертації.

Розділ 1.

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

1) Проведено аналіз теорій вихрового руху, існуючих способів і пристроїв закручування потоку. Розглянуто основні етапи розвитку теоретичного опису вихрового руху починаючи із зародження вихрової теорії у роботах Р. Декарта, Г. Гельмгольца, Г. Кірхгофа, Жуковського М. Є., а також сучасних досліджень у роботах Халатова А.А., Щукіна В.К., Гольдштіка М.О. тощо. Наведено детальний опис та ілюстрації до кожного із відомих способів і пристроїв для закручування потоку, визначені переваги та недоліки кожного з них.

2) Проведено аналіз існуючих моделей течії потоків, що стискаються, у прямоструминних та вихрових апаратах. Наведена схема прямоструминного апарата та описаний його робочий процес, розглянута велика кількість теоретичних і експериментальних досліджень, присвячених вивченню потоків скипаючої рідини і процесу пароутворення в цілому. Визначені переваги кипіння рідини у полі відцентрових сил, представлені типи конструктивного виконання каналів введення активного потоку до вихрової камери, розглянуто моделі руху потоку у вихрових апаратах.

3) Досліджено методи та пристрої для експериментального дослідження вихрових потоків. Розглянуто можливості дослідження тривимірних потоків за допомогою термоанемометрів, лазерних доплерівських вимірювачів швидкості та візуалізації. Наведено короткий опис пристроїв для вимірювань усереднених за часом полів тиску 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»:

1) Викладено загальні положення гідродинамічної і математичної моделей робочого процесу РПСА. Наведена розрахункова схема течії потоку у рідинно-паровому струминному апараті, яка враховує наявність зворотних течій, що виникають у сильно закручених потоках, та утворення вихрового шнура – області квазітвердого обертання потоку у приосьовій зоні вихрової камери. Приведені основні припущення та обмеження запропонованої моделі.

2) Досліджено вплив косоного зрізу сопла активного потоку на формування робочого вихрового потоку у апараті вихрового типу. Розглянуто схему відхилення потоку у косому зрізі сопла, що розширюється, та отримано рівняння (2.12) для визначення кута відхилення потоку з урахуванням особливостей течії скипаючого потоку.

3) Описано основні положення гідродинамічної і математичної моделей робочого процесу РПСА. Представлена схема РПСА у складі струминного термокомпресорного модуля та схема процесів, що відбуваються у ньому. Детально описано робочий процес, у тому числі, зроблений акцент на структурних перетвореннях, що відбуваються у вхідному перерізі вихрової камери. Викладена методика розрахунку режимних та геометричних параметрів РПСА вихрового типу. Отримано рівняння (2.42) для знаходження радіусу початку пристінного бульбашкового кипіння, рівняння спіральної траєкторії вихрового потоку (2.66) та рівняння кроку спіральної траєкторії (2.70).

4) Приведено методику розрахунку внутрішніх характеристик процесу кипіння рідини у вихровому потоці, яка базується на динамічній моделі скипаючого потоку у полі відцентрових сил.

5) Наведені схема ексергетичних потоків у РПСА вихрового типу та дані про ексергетичну ефективність за методикою Дж. Тсатсароніса; зроблені висновки за розділом.

Розділ 3.

У третьому розділі «Експериментальна установка для досліджень рідинно-парового струминного апарата вихрового типу» представлено схему та опис експериментальної установки для дослідження робочого процесу РПСА вихрового типу. Приведено опис конструкції приладу для вимірювання тиску і напрямку потоку у вихровій камері РПСА, у якості якого використовувався триканальний циліндричний зонд. Наведено методику 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»:

1) Представлено результати експериментальних досліджень роботи сопла активного потоку РПСА вихрового типу. Виконано моделювання течії скипаючого потоку у каналі сопла, що розширюється, за допомогою програмного комплексу Ansys CFX. 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. Представлені матеріали по візуалізації відхилення скипаючого потоку у косому зрізі сопла, що розширюється та наведені графіки залежності кута відхилення потоку δ від режимних та геометричних параметрів сопла.

2) Представлено результати експериментальних досліджень вихрової камери РПСА. Приведено тверdotільну параметричну модель РПСА та виконано числовий розрахунок течії скипаючого вихрового потоку у

вихровій камері з використанням програмного комплексу Ansys CFX. Представлено експериментальні дані вимірювань розподілу повних тисків по колу вихрової камери, наведено результати візуалізації потоку у вхідному та вихідному перерізах вихрової камери РПСА. Отримано експериментальні характеристики РПСА: 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. Зроблені відповідні висновки за розділом.

5. Основні зауваження.

За змістом дисертаційної роботи необхідно зробити наступні зауваження:

1. З тексту роботи незрозуміло, чому за розрахункову схему течії потоку у рідинно-паровому струминному апараті вихрового типу обрана прямоотокова схема, адже противотокові вихрові апарати забезпечують більш високі значення ступеня підвищення тиску пасивного потоку.

2. Не приділено достатньої уваги порівнянню внутрішніх характеристик процесу кипіння рідини у вихровому потоці з прямоосними скипаючими потоками.

3. У розділі 1 виконано аналіз значної кількості робіт, присвячених особливостям течії робочого середовища при наявності вихрової складової, але не зроблено певних висновків щодо експериментального визначення параметрів такої течії (тиск, температура, швидкість). Це повинно бути одним із вихідних положень для формування вимог на розробку експериментальної установки.

4. У розділі 3 проведено дослідження вимірювання статичного тиску у вихровому потоці триканальним циліндричним зондом, але експериментальні дані вимірювання поля статичних тисків у роботі відсутні.

5. У дисертаційній роботі не зазначено, за рахунок чого можна підвищити ексергетичну ефективність РПСА вихрового типу і не визначені перспективи їх можливого використання в різних галузях промисловості.

6. В деяких розділах дисертації, наприклад, п. 1.4 (стор. 42-45), п. 3.2 (стор. 109-111) приведені дані з посиланням на загальновідомі джерела, які можливо опустити без збитку для смислової частини тексту дисертації.

7. У роботі присутні стилістичні помилки, наприклад, равликовий завихрювач, замість завитковий завихрювач, пов'язані з недостовірністю технічної термінології, та русизми, які, однак, не впливають на якість і розуміння викладеного матеріалу.

За змістом автореферату дисертації необхідно зробити наступні зауваження:

1. При викладенні результатів експериментального дослідження (розд. 4) не наведено схему розміщення циліндричного зонда з прив'язкою до геометрії РПСА вихрового типу.

2. На *рис. 10в* доцільно було б представити результати експериментального дослідження повних температур у межах зміни відносних радіусів (аналогічно *рис. 10а*).

3. У висновках автореферату доцільно було б привести експериментальні дані досяжних показників градієнту повних температур у характерних перерізах вихрової камери РПСА.

4. Розмір шрифту на *рис. 4* та *рис. 7* є замалим, що ускладнює читання написів.

5. Не всі одиниці виміру параметрів потоку відповідають міжнародній системі СІ. Наприклад, одиниця температури на *рис. 10в* (стор.16) та в пункті 4в висновків (стор. 15) наведені у градусах Цельсія. Також в деяких місцях тексту, зокрема у висновках, допущені термінологічні неточності.

6. Загальні висновки.

1. Дисертаційна робота Мерзлякова Ю.С. «Робочий процес рідинно-парового струминного апарата вихрового типу» відповідає вимогам, які пред'являються до виконання та 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 практичне значення для подальшого розвитку типу обладнання, що досліджувалося в дисертаційній роботі.

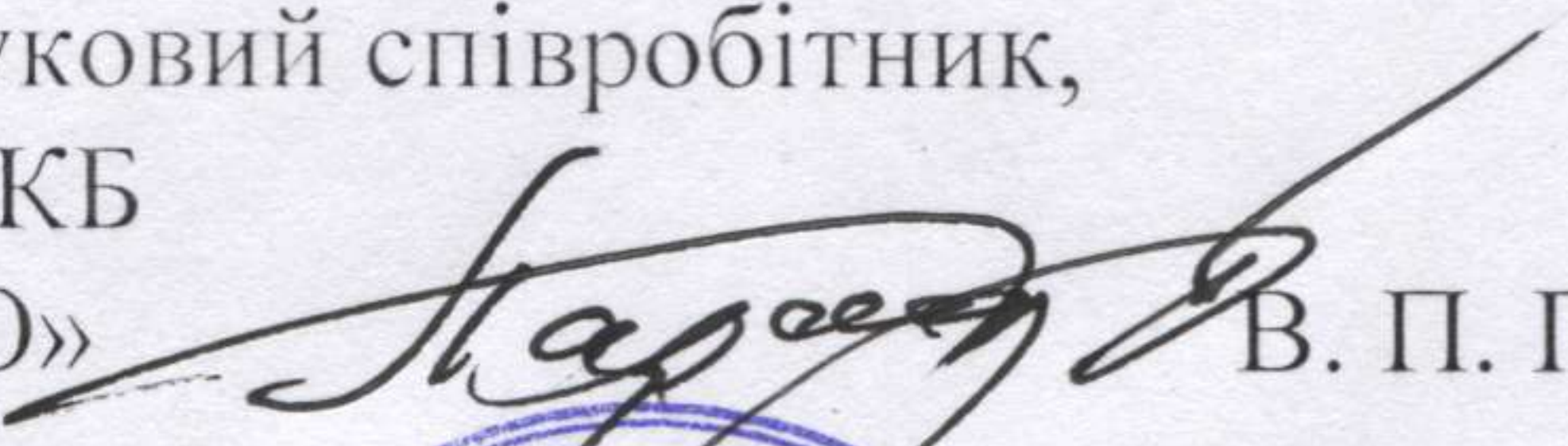
5. Дисертація написана на високому науковому рівні, з використанням сучасного математичного апарату та методів дослідження. Стиль викладення результатів досліджень, наукових положень, висновків та рекомендацій забезпечує достатню легкість і доступність їх сприйняття. Рукопис дисертаційної роботи Мерзлякова Ю.С. оформлено літературно грамотно, рисунки виразні, достатньо інформативні та вдало ілюструють особливості роботи РПСА.

6. Зміст автореферату повністю відповідає основним положенням дисертаційної роботи.

Дисертаційна робота Мерзлякова Юрій Сергійович 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 положенням Департаменту атестації кадрів вищої кваліфікації та ліцензування Міністерства освіти і науки України про порядок присудження наукових ступенів, а її автор заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук зі спеціальності 05.05.17 – гідравлічні машини та гідропневмоагрегати.

Офіційний опонент

доктор технічних наук, старший науковий співробітник,
провідний науковий співробітник СКБ
ПАТ «Сумське машинобудівне НВО»

 В. П. Парафійник

Підпис д.т.н. Парафійника В.П. затверджую
Інспектор канцелярії



О.Б. Сичьова