

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Рогового Андрія Сергійовича

«Розробка теорії та методів розрахунку вихорокамерних нагнітачів»,

представлену на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.05.17 – гідравлічні машини та гідроприводи

Актуальність теми.

Підвищення ефективності нагнітачів для перекачування різних гетерогенних середовищ є актуальною проблемою, яка вирішена автором за рахунок створення нових струминних нагнітачів із вихровою камерою змішання – вихорокамерних нагнітачів (ВКН). Нагнітачі, що використовуються на сьогоднішній день у промисловості, особливо в несприятливих умовах експлуатації у металургійній та вугледобувній промисловості мають ряд недоліків. Динамічні насоси дуже швидко виходять з ладу внаслідок зношування механічних рухомих органів, об'ємні мають низькі подачі та швидко зношуються, а струминні прямооточні, хоча й володіють високими показниками надійності, але мають великі поздовжні габаритні розміри та досить низький ККД. Нагнітачі вихрового типу при найменших габаритах мають ККД, що не перевищує 10 %. Тому пошук ефективних принципів передачі енергії в струминних нагнітачах та створення нових конструкцій, які мають високі показники енергоефективності разом з високими показниками надійності, притаманними всій струминній техніці загалом, є актуальною проблемою, вирішеною автором за рахунок об'єднання позитивних якостей відцентрових динамічних насосів та струминних апаратів на основі вихрової камери. Це дозволило використати відцентрову силу та створити нагнітачі з показниками ефективності, що перевершують відомі конструкції нагнітачів вихрового типу.

Актуальність теми роботи підтверджується так само й тим, що вона пов'язана з виконанням тематик науково-дослідних робіт Міністерства освіти і науки України, в яких автор був відповідальним виконавцем: «Розробка теорії і методів проектування безконтактних засобів управління текучими середовищами у технічних системах» (ДР №0108U000158), «Розробка основ проектування і методик розрахунку безроторних відцентрових насосів» (ДР №0110U002099), «Підвищення ефективності обладнання і технології транспортування енергоносіїв та відходів теплоенергетичного комплексу» (ДР №0112U000227), «Розробка теорії та підвищення ефективності енергетичних процесів у системах приготування, транспортування та спалювання водовугільного палива» (ДР №0115U000646).

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і

рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі є високою й базується на аналізі науково-технічних джерел за даною проблемою, гармонійній постановці мети і задач дослідження, використанні сучасних методів дослідження, зіставленні і критичному аналізі отриманих результатів у порівнянні з результатами інших дослідників, і якісному формулюванні отриманих висновків. Теоретичні дослідження виконано з використанням сучасного математичного апарату, фізичних явищ, які мають місце в обмежених обертових потоках у вихрових камерах. Отримані результати перевірені шляхом критичних переходів отриманих залежностей до відомих раніше видів, що підтверджує обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі результатів дослідження.

Достовірність результатів досліджень.

Достовірність результатів дисертаційного дослідження забезпечується коректністю постановок математичних задач, проведенням верифікації моделей турбулентності шляхом зіставлення з експериментальними даними результатів розрахунків течії, застосуванням стандартних процедур математичного аналізу й методів математичної фізики, відповідністю змісту математичних конструкцій фізичній суті описуваних процесів. Наукові результати здобувача успішно використані під час створення нових вихорокамерних нагнітачів на підприємствах України та Польщі.

До основних нових наукових результатів дисертації слід віднести наступне:

- вперше визначено напрям вирішення проблеми підвищення техніко-економічної ефективності гідравлічних і пневматичних систем, що працюють в несприятливих умовах, шляхом розробки принципово нових струминних нагнітачів відцентрової дії з вихровою робочою камерою, маючих поліпшені енергетичні показники за рахунок поєднання позитивних якостей робочих процесів механічних відцентрових і струминних нагнітачів;

- вперше розроблено концепцію вихорокамерних нагнітачів, яка оснований на новому для струминних нагнітачів принципі передачі енергії за рахунок використання гідродинамічних ефектів обертових потоків – вакууму біля осі та підвищеного тиску на периферії вихрової камери, що обумовлює більшу енергетичну ефективність при відборі середовища, яке перекачується, тангенціально з периферії вихрової камери;

- вперше за результатами теоретичних досліджень течій різних агрегатних станів середовищ у коротких вихрових камерах ВКН установлені співвідношення між геометричними розмірами нагнітача та гідродинамічними характеристиками течії, що забезпечують оптимальні параметри енергоефективності робочих процесів ВКН;

- вперше доведено існування двох різних за фізичною сутністю робочих процесів у ВКН: 1) з високим тиском і малою витратою

середовища, що перекачується, та скиданням у дренажний канал частини середовища; 2) без дренажу, невеликим тиском і високими значеннями витрати. Обидва робочі процеси об'єднує передача енергії в полі відцентрової сили, але в першому це відбувається при збереженні моменту кількості руху (циркуляції тангенціальної компоненти швидкості), а в другому, обміном кількістю руху між взаємодіючими потоками завдяки турбулентному руху. Це дозволяє вибрати необхідну методику гідродинамічного розрахунку ВКН, внаслідок суттєво різного розподілу тиску вздовж радіусу вихрової камери;

- вперше експериментально доведено, що показники ефективності: ККД, тиск та коефіцієнт витрати середовища, що перекачується, при роботі ВКН на середовищах із вмістом твердих компонентів у пневматичному та гідравлічному трубопровідному транспорті перевищують показники ефективності відомих струминних нагнітачів майже у два рази.

Значимість отриманих результатів для науки і практичного використання.

Розроблені здобувачем вихорокамерні нагнітачі дозволили розширити клас струминних машин, та відрізняються від існуючих принципом дії, робочими і геометричними параметрами. Використання гідродинамічних ефектів обертових потоків: створення вакууму біля осі та підвищеного тиску на периферії вихрової камери дозволило досягти більших техніко-економічних показників роботи струминних нагнітачів вихрового типу за рахунок використання відцентрової сили. Системи гідравлічного та пневматичного трубопровідного транспорту з вихорокамерними нагнітачами працюють в два рази ефективніше ніж системи з прямоточним струминними насосами за рахунок зменшення тиску активного потоку. Таким чином, збільшено дальність транспортування сипких середовищ засобами струминної техніки. В роботі сформульовані принципи побудови систем на основі струминних вихорокамерних нагнітачів для перекачування гетерогенних середовищ, які є алгоритмізовані та забезпечують прийняття рішення щодо доцільності використання нагнітачів на основі аналізу потреб, можливості використання та техніко-економічної доцільності побудови гідравлічних і пневматичних систем в несприятливих умовах експлуатації та з вмістом твердих середовищ.

Повнота викладення результатів досліджень в опублікованих працях.

Основні положення та результати дисертаційної роботи достатньо повно опубліковані в 62 наукових працях, у тому числі в 3 монографіях та 21 публікації у наукових фахових виданнях України та закордонних періодичних виданнях.

У цілому, рівень і кількість публікацій та апробації матеріалів дисертації на конференціях повністю відповідають вимогам МОН України.

Оцінка змісту дисертаційної роботи.

Дисертаційна робота складається зі вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел, 3 додатків.

У вступі обґрунтовано напрямок досліджень та актуальність вирішення проблеми підвищення техніко-економічної ефективності гідравлічних і пневматичних систем, які працюють в несприятливих умовах.

У першому розділі проведено літературний огляд нагнітачів, які використовуються під час переміщення гетерогенних та однофазних середовищ. Виконано аналіз енергетичної ефективності нагнітачів, які працюють в гідравлічному та пневматичному транспорті, та визначено напрямок удосконалення робочих процесів гідравлічних машин і гідропневоагрегатів за рахунок пошуку нових способів передачі енергії, та відповідних конструкцій при проектуванні струминних нагнітачів. Обґрунтовано напрям вирішення проблеми підвищення техніко-економічної ефективності гідравлічних і пневматичних систем з гетерогенними робочими середовищами, шляхом створення струминних вихорокамерних нагнітачів. Бажано було б обґрунтувати напрям більш повніше з порівнянням із іншими напрямками підвищення ефективності: використання більш міцних матеріалів, оптимізація конструкцій нагнітачів та ін.

Другий розділ присвячено обґрунтуванню можливості передачі енергії з більш високими показниками енергоефективності в обмежених обертових потоках текучих середовищ на основі теоретичних досліджень течій ідеальної рідини, зонального та тривимірного моделювання. Наведено концепцію створення вихорокамерних нагнітачів. Внаслідок суттєво просторової течії в таких пристроях обґрунтовано використання тривимірних моделей та спеціалізованих програмних комплексів.

Отримані результати досліджень на розглянутих математичних моделях складають основи гідродинамічного розрахунку ВКН. Так, модель течії ідеальної рідини дозволила аналітично встановити асимптотичні параметри щодо витрати, яку всмоктує нагнітач, та вплив на неї режимних та геометричних факторів. Другий підхід (зональне моделювання) дозволив на основі аналітичних моделей течії скласти та розрахувати траєкторії руху твердих частинок й газових пухирців, та виявити вплив гравітаційних сил на робочий процес нагнітача й особливості формування газового шнуру біля осі обертання. Третій підхід дав можливість установити особливості течії, обумовлені даною геометрією проточної частини. Незважаючи на те, що кожна більш проста модель може бути отримана з найбільш загальної, методи рішення для кожного випадку різні. Усі три підходи і засновані на них математичні моделі становлять комплексний математичний інструмент для досліджень течій у вихорокамерних нагнітачах. Автором наведено гідродинамічні підходи до математичного моделювання, але кінцевий вибір використаних підходів не достатньо обґрунтований.

Третій розділ присвячено верифікації просторових математичних моделей, які використовуються у пристроях із вихровою камерою, та зокрема у нагнітачах, що дозволило на основі порівняння з

експериментальними даними сформулювати коректні межові умови, вибрати найкращу за точністю та часом розрахунку модель турбулентності, скоригувати її і підібрати на цій основі більш досконалі математичні моделі робочих процесів. Верифікацію проведено порівнянням розрахункового розподілу тиску вздовж радіусу вихрової камери з експериментальним, а також за інтегральними параметрами – тисками та витратами в усіх каналах нагнітача. Порівняння математичних моделей проведено із використанням моделі стисливої рідини, але її формалізований запис, не наведено, що ускладнює сприйняття матеріалу щодо верифікації та допущень, які було зроблено під час моделювання стисливої рідини у вихрових камерах.

Четвертий розділ присвячено експериментальним дослідженням характеристик вихорокамерних нагнітачів, описано експериментальні стенди, методики проведення й обробки результатів досліджень. Показано залежності витрати, що всмоктується в нагнітач від тиску живлення, співвідношення тиску на виході з пристрою до тиску живлення. Характеристика ВКН являє собою залежності відносного тиску на виході з пристрою, ККД і відносної витрати всмоктування в пристрій (так званий коефіцієнт ежекції) від відносної об'ємної витрати на виході з пристрою. Всі характеристики ВКН зведені до однієї універсальної характеристики $p = f(Q)$, як і для нагнітачів інших типів. З матеріалу частини розділу, присвяченому моделюванню руху твердих частинок та газових пухирців, доцільно було б сформулювати додатковий розділ щодо моделювання руху гетерогенних середовищ.

В п'ятому розділі наведено результати удосконалення техніко-економічних параметрів роботи нагнітачів, які працюють на однофазних середовищах, за рахунок покращення умов входу потоку, що перекачується. При оптимізації енергетичних характеристик ВКН використано відому з теорії струминних апаратів властивість зниження енергетичних витрат при вирівнюванні швидкостей потоків, що змішуються. Цей процес приводить до втрат на удар, тобто до втрати (дисипації) частини працездатної енергії потоків. Показано, що попереднє закручення вхідного потоку дозволяє досягти швидкостей, що має рідина у вихровій камері, й таким чином зменшуються втрати енергії в процесі змішування та збільшується ККД нагнітачів.

Доведено існування двох різних робочих процесів у вихорокамерних нагнітачах та на цій основі дані рекомендації щодо проектування багатоступінчастих насосів.

Деякі фактори, наприклад, ступень закручення потоку та форма кільцевого каналу всмоктування, корисно було б внести до плану загальної оптимізації вихорокамерних нагнітачів, провести п'яти або шестифакторний експеримент, що дозволило б більш чітко сформулювати залежності критеріїв ефективності роботи нагнітачів від геометричних розмірів проточної частини.

В шостому розділі викладені результати практичного використання вихорокамерних нагнітачів у системах перекачування гетерогенних

середовищ та проведено порівняння характеристик з характеристиками існуючих струминних нагнітачів. При порівнянні виявлено, що ВКН мають ККД, який перевищує в 2 рази ККД вихрових ежекторів при перекачуванні повітря. При перекачуванні середовищ в несприятливих умовах, а особливо сипучих середовищ, ефективність ВКН, на основі порівняння за тиском активного потоку, в два рази перевищує ефективність прямоочних струминних апаратів, що дозволяє розширити область застосування струминної техніки в пневматичному та гідравлічному транспорті.

Сформульовано принципи побудови гідравлічних і пневматичних систем на основі вихорокамерних нагнітачів та наведено методики розрахунку в залежності від типу реалізованого робочого процесу та середовища, яке перекачується.

Доцільно було б звернути увагу на гідравлічні та пневматичні системи, що застосовуються в сільському господарстві, наприклад, у системах дозування сипучих матеріалів при обробленні різних сільськогосподарських культур. Крім того, зазначене впровадження результатів досліджень корисно було б описати за сформульованими принципами побудови гідравлічних і пневматичних система та навести розрахунки за етапами відбору потреби, можливості та доцільності.

Висновки до розділів та за результатами роботи сформульовані достатньо чітко і виразно та відповідають змісту дисертаційної роботи.

Список використаних джерел досить повний і охоплює сучасні вітчизняні та зарубіжні публікації з 346 найменувань.

Оцінка змісту дисертації.

В цілому дисертаційна робота містить всі необхідні розділи, які достатньо повно розкривають проведені автором дослідження – від ґрунтового аналізу існуючих теоретичних підходів та технічних рішень до конкретних рекомендацій. Стиль викладення і мова дисертації відповідають вимогам, що ставляться до дисертаційних робіт.

Відповідність змісту автореферату і дисертаційної роботи.

Автореферат у повній мірі відображає структуру дисертаційної роботи та за своїм змістом відповідає основним її положенням і висновкам. Оформлення автореферату відповідає існуючим вимогам. Висновки, зазначені у дисертаційній роботі та в авторефераті, є ідентичними.

Зауваження до дисертаційної роботи:

1. В першому розділі дисертації досить докладно наведено огляд нагнітачів, які використовуються при переміщенні середовищ в екстремальних умовах (підрозділи 1.2-1.5 обсягом 48 сторінок). Також було б доцільним більш докладно провести огляд проблеми верифікації сучасних математичних моделей в інших пристроях вихрового типу.

2. В розділах 2 і 3, при моделюванні робочих процесів у

вихорокамерних нагнітачах, необхідно було більше уваги приділити моделюванню двофазних рідин, тому що концентрація другої фази при перекачуванні двофазних середовищ може сягати 50%, що значно впливає на характеристики нагнітачів та особливості математичного моделювання, пов'язані з виконанням реологічного закону щодо дотичних напруг.

3. В третьому розділі дисертації наведено результати верифікації математичних моделей течії. Але не достатньо обґрунтовано, чому обрано лише дві моделі турбулентності? У закордонних джерелах є випадки успішного використання RSM-моделі (Montavon, Великобританія), k-ε (Kulkarni, Індія) та LES (Yin, Китай) для обертових течій вихрових пристроїв.

4. В четвертому розділі дисертації вказано про наявність вихрового шнура (стор. 167), але не має ніякого висновку щодо його впливу на надійність та довговічність вихорокамерних пристроїв?

5. В роботі при моделюванні руху газових пухирців (розділ 4) доцільно було б навести кавітаційні характеристики створених вихорокамерних нагнітачів. Це дозволило б порівняти вихорокамерні нагнітачі з нагнітачами інших типів.

6. В тексті дисертації (розділ 5, стор. 223) не наведено чи враховані витрати на реалізацію закручення потоку при оцінці впливу закрутки потоку на вході на енергетичні характеристики нагнітача. Наприклад, створення закрутки потоку за допомоги подачі додаткового струменя потребує додаткових витрат енергії, а створення закрутки направляючим апаратом – ні.

7. В дисертації запропоновані струминні вихорокамерні нагнітачі для роботи в системах гідравлічного та пневматичного транспорту, внаслідок їх високої надійності (розділ 6, стор. 253-254). Але при цьому не наведено на скільки саме підвищилися надійність та довговічність гідравлічних та пневматичних систем за використання пропонованих нагнітачів?

8. Текст рукопису дисертації, має окремі неточності, орфографічні та синтаксичні помилки (стор. 29, 118, 168, 272).

Вказані недоліки не впливають на загальну позитивну оцінку виконаної роботи.

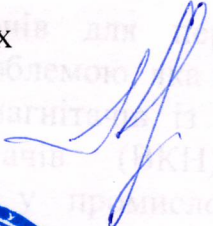
ВИСНОВОК

Дисертаційна робота **Рогового Андрія Сергійовича** «Розробка теорії та методів розрахунку вихорокамерних нагнітачів» за своїм змістом відповідає паспорту спеціальності 05.05.17 – гідравлічні машини та гідропневмоагрегати. Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, яка розв'язує важливу наукову проблему, суть якої полягає в підвищенні техніко-економічної ефективності гідравлічних і пневматичних систем, працюючих в несприятливих умовах, шляхом використання струминної техніки та розробки принципово нових струминних нагнітачів відцентрової дії з вихровою робочою камерою, здатних працювати на однофазних та гетерогенних текучих середовищах. Дисертаційна робота


відповідає вимогам п.п. 9, 10, 12 “Порядку присудження наукових ступенів”, щодо докторських дисертацій, а здобувач **Роговий Андрій Сергійович**, заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.05.17 – гідравлічні машини та гідропневмоагрегати.

Офіційний опонент:

доктор технічних наук, професор,
завідувач кафедри мобільних енергетичних
засобів Таврійського державного
агротехнологічного університету


А.І. Панченко

Підпис Панченка А.І. засвідчує
Начальник відділу кадрів


А.В. Терещенко



Відомості надійшов « 23.05.2017 »
Відомості секретар спец. ради 964



Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі
Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і