

До спеціалізованої вченої ради
Д64.050.11
у Національному технічному
університеті «Харківський
політехнічний інститут»

ВІДГУК

офіційного опонента

на дисертаційну роботу Рогового Андрія Сергійовича
«РОЗРОБКА ТЕОРІЇ ТА МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ ВИХОРОКАМЕРНИХ
НАГНІТАЧІВ»,

поданої на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук за спеціальністю
05.05.17 – гідравлічні машини та гідропневмоагрегати

1.Актуальність теми дослідження

Розвиток конкурентоспроможної продукції вугільної, хімічної, металургійної промисловості, транспорту, збагачення корисних копалин нерозривно пов'язаний із розширенням впровадження нових типів та видів нагнітачів, зокрема струминних, що обумовлює пошук нових 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. Зростання використання трубопровідного гідро- та пневмотранспорту кожного року обумовлено простотою конструкції та малими габаритними розмірами, але надійність та довговічність такого обладнання досить низька та приводить до великих експлуатаційних витрат, що сягають 30-50% його вартості. Основною причиною низьких показників надійності та довговічності нагнітачів гідро- та пневмотранспортних систем переміщення сипучих середовищ є негативні зовнішні впливи з боку робочих середовищ, що приводить до швидкого зношування механічних рухомих органів та ущільнень динамічних та об'ємних нагнітачів, які переважно використовуються в таких системах. Провідними дослідниками світу створено ряд прототипів струминних насосів та нагнітачів з вихровою камерою, що працюють в різних експлуатаційних умовах, але їх к.к.д. досить низький.

Можливість зниження енергетичних та матеріальних витрат при перекачуванні різних середовищ обумовлює актуальність дослідження струминних нагнітачів з вихровою камерою на основі поєднання позитивних якостей динамічних та струминних нагнітачів. Використання гідродинамічних ефектів обертових потоків – вакууму біля осі обертання і підвищеного тиску на периферії вихрової камери дозволяє очікувати більшу енергетичну ефективність переміщення середовищ, за рахунок того, що енергію частинки отримують переважно у консервативному полі за рахунок переміщення під дією відцентрової сили на периферію вихрової камери де несуча рідина має високі відносні значення потенціальної енергії, які можуть сягати 90% від затрачуваної енергії несучого середовища.

2.Наукова новизна одержаних результатів

Автором обґрунтовано напрямок вирішення проблеми підвищення техніко-економічної ефективності гідравлічних і пневматичних систем, що працюють в екстремальних умовах експлуатації, або при перекачуванні середовищ із наявністю твердих частинок, за рахунок створення принципово нових струминних нагнітачів із вихровою камерою змішання. Згідно концепції вихорокамерних нагнітачів, автором реалізовано новий для струминних нагнітачів спосіб передачі енергії за рахунок використання гідродинамічних ефектів обертових потоків, що обумовило більшу енергетичну ефективність. На відміну від класичних струминних нагнітачів, де використовується лише спосіб передачі енергії за рахунок обміну кількістю руху взаємодіючих потоків при зіткненні, яке супроводжується суттєвим дисипативним процесом, у вихорокамерних нагнітачах основну енергію частинки отримують переважно у консервативному полі за рахунок переміщення під дією відцентрової сили на периферію вихрової камери де несуча рідина має високі відносні значення потенціальної енергії. На основі зазначених міркувань автором запропоновано, базуючись на верифікації математичних моделей, просторові математичні моделі течії середовищ різних агрегатних станів у коротких вихрових камерах та установлені співвідношення між геометричними розмірами нагнітача та гідродинамічними характеристиками течії, що забезпечують оптимальні параметри енергоефективності робочих процесів вихорокамерних нагнітачів.

Автором на основі теоретичних та експериментальних досліджень доведено існування двох різних за фізичною сутністю робочих процесів у вихорокамерних нагнітачах: 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 нагнітачів, що пов'язано з суттєво різним розподілом тиску вздовж радіуса вихрової камери.

Автором експериментально доведено, що використання відцентрової сили в нагнітачах з вихровою камерою в гідравлічних та пневматичних системах переміщення сипучих середовищ дозволяє покращити показники ефективності, які перевищили показники ефективності відомих струминних нагнітачів майже у два рази.

3.Практичне значення отриманих результатів.

Практичне значення роботи полягає у тому, що автором розроблені методики розрахунку вихорокамерних нагнітачів, які враховують агрегатний стан середовищ, та дозволяють проектувати конструкцію за заданим критерієм ефективності (к.к.д., тиск або концентрація сипучого середовища на виході з нагнітача), з характеристиками близькими до оптимальних при їх роботі в гідравлічних і пневматичних системах. Створення вихорокамерних нагнітачів дозволило розширити клас струминних машин. Також автором створені 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 сипучих середовищ. Це дозволяє розширити область застосування струминних нагнітачів в пневматичному та гідравлічному транспорті.

Практична цінність роботи підтверджується потужним впровадженням результатів у виробництво: ТОВ «Харківгазообладнання» (м. Харків), ХЗТФ «Моторімпекс» (м. Харків), ТОВ PONAR Wadowice (Польща), ТОВ «Промгідропривод» (м. Харків), АТ «Сумський завод «Насосенергомаш» (м. Суми). Автор також впровадив результати роботи і в навчальний процес вищих навчальних закладів – Харківського національного автомобільно-дорожнього університету та Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля (м. Северодонецьк).

4. Апробація роботи та її відповідність планам наукових досліджень.

Робота виконувалась на кафедрі теоретичної механіки і гідравліки ХНАДУ. Здобувач як відповідальний виконавець проводив дослідження в рамках науково-дослідних робіт МОН України: «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).

Основні результати дисертаційної роботи доповідались, обговорені і схвалені на: XIV, XV, XVI, XVII, XVIII, XIX, XX і XXI Міжнародних конференціях «Гідроаеромеханіка в інженерній практиці» (2010 р., 2013 р., 2015 р., 2016 р. – м. Київ, 2009 р. – м. Чернівці, 2011 – м. Вінниця, 2012 – Черкаси, 2014 р. – м. Кіровоград), IX, XII, XIII, XIV, XVI і XVII Міжнародних науково-технічних конференціях АС ПГП «Промислова гідравліка і пневматика» (2008 р. – м. Кременчук, 2011 р. – м. Донецьк, 2012 р. – м. Чернігів, 2013 р. – м. Одеса, 2015 р. – м. Суми, 2016 р. – м. Харків), XIII Міжнародній науково-технічній конференції «Герметичність, вібронадійність і екологічна безпека насосного і компресорного обладнання» – «ГЕРВІКОН» (м. Суми, 2011 р.), на конференціях «Новітні технології в автомобілебудівництві та транспорті» (м. Харків, 2014 р., 2015 р., 2016 р.), а також на щорічних науково-практичних конференціях професорсько-викладацького складу Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля (2008-2014 р.) та Харківського національного автомобільно-дорожнього університету (2015, 2016 р.).

У повному обсязі дисертаційна робота доповідалася та схвалена на пленарному засіданні XVII Міжнародної науково-технічної конференції АС ПГП «Промислова гідравліка і пневматика» (м. Харків, 2016 р.), на засіданні кафедри

прикладної гідроаеромеханіки і механотроніки НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського» (м. Київ, 2016 р.) та кафедри прикладної гідроаеромеханіки СумДУ (м. Суми, 2016 р.).

5. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій.

Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій витікає із коректного використання теоретичних положень механіки рідини і газу, теоретичної механіки, приведених розрахунків, правильного використання інтегрального та диференціального числення. Статистичне опрацювання даних для встановлення оптимальних геометричних розмірів вихорокамерного нагнітача та визначення енергетичних характеристик виконано на основі відомих методів обробки статистичних вибірок прямих спостережень, а також методик визначення інструментальних помилок; адекватність отриманих результатів перевірена статистичними критеріями Фішера, Стьюдента та ін. У роботі використано методи математичного і фізичного моделювання процесів у вихорокамерних нагнітачах на основі системного підходу. Теоретичні дослідження проводилися на математичних моделях трьох рівнів – гідромеханічний, гідравлічний й апроксимаційний (інженерний). Математичне моделювання здійснювалось за допомогою трьох гідродинамічних математичних моделей течії в ВКН; для розрахунку течії рідкого середовища моделі розроблені на основі підходу Ейлера, а для моделювання траєкторій твердих часток та газових пухирців – на основі підходу Лагранжа. Математичні моделі являють собою сукупність нелінійних диференціальних рівнянь у часткових і повних похідних другого порядку (закони збереження: маси, кількості руху та ін.), рішення яких проводилося числовими методами з використанням пакетів прикладних програм. Для забезпечення найменших похибок при моделюванні просторових течій виконана верифікація моделей та визначена модель турбулентності, що має найменшу похибку за інтегральними параметрами, такими як витрати та тиски на виході й вході в канали. Експериментальні дослідження енергетичних характеристик вихорокамерних нагнітачів проводилися на лабораторних установках кафедри гідрогазодинаміки СНУ ім. В. Даля на прозорих моделях, які дозволили також встановити характер і особливості течії шляхом візуалізації.

6. Загальна оцінка роботи.

Сукупність наукових результатів дозволила автору досягти поставленої мети – розробити теорію та методи розрахунку вихорокамерних нагнітачів для підвищення техніко-економічної ефективності систем перекачування рідин в несприятливих умовах експлуатації із вмістом твердих компонентів. Наукові результати, винесені на захист, отримані автором самостійно та викладені в опублікованих 62 наукових працях, з них 3 монографії (у співавторстві), 16 статей у наукових фахових виданнях України (12 – у виданнях, включених до міжнародних наукометричних баз), 5 – у закордонних періодичних фахових виданнях (5 – у виданнях, включених до міжнародних наукометричних баз, в тому числі 2 – бази Thomson Reuters, 1 – бази Scopus), 15 патентів України на корисну модель, 23 – у матеріалах конференцій.

Внесок автора у кожен із праць висвітлено в авторефераті, а в дисертації приведено тільки ті результати, що отримані автором самостійно.

Вивчення опублікованих за час роботи над дисертацією друкованих праць довело, що вони достатньо розкривають зміст і результати наукових досліджень автора, логічні за будовою, носять системний характер та широку географію. Позитивним моментом є також і те, що робота всебічно обговорювалася на міжнародних конференціях, де автор представляв отримані результати у відповідних секціях.

Автореферат дисертації відповідає змісту роботи і розкриває практично всі аспекти досліджень, виконаних автором.

7.Оцінка змісту дисертації та її завершеність в цілому.

Дисертаційна робота складається зі вступу, шести розділів, загальних висновків, переліку використаних джерел, додатків. Загальний обсяг дисертації становить 287 сторінок, з них 115 рисунків за текстом; 13 рисунків на 12 окремих сторінках; списку використаних джерел з 346 найменувань на 41 сторінці, 3 додатки на 35 сторінках. Текстова частина роботи достатньо проілюстрована розрахунковими схемами, діаграмами, графіками, фотографіями. В додатках наведена вторинна інформація та акти впровадження у навчальний процес (Харківський національний автомобільно-дорожній університет та Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля), на підприємствах: ТОВ «Харківгазообладнання», ХЗТФ «Моторімпекс», ТОВ PONAR Wadowice, ТОВ «Промгідропривод», АТ «Сумський завод «Насосенергомаш».

У **вступі** автор обґрунтовує актуальність роботи, формулює мету, об'єкт, предмет дослідження і задачі, які розв'язує в роботі; подає наукову новизну та практичне значення отриманих результатів. Приводить відомості про апробацію, публікації та структуру дисертаційної роботи. Також автор зазначає зв'язок дисертаційної роботи із тематикою фундаментальних та прикладних досліджень, в яких брав участь в якості відповідального виконавця.

У **першому розділі** показано роль і місце струминних нагнітачів у різних галузях народного господарства. Наведено порівняння енергетичної ефективності струминних нагнітачів та динамічних і об'ємних нагнітачів, що працюють в гідравлічних й пневматичних системах переміщення сипучих середовищ.

Автор детально проаналізував різні типи насосів, навів можливості використання їх в різних системах, чим переобтяжив розділ.

Вивчаючи роботи Андреска П.М., Бабенка В.В., Батлук В.А., Блюсса Б.О., Бочарова В.П., Брагіна Б.Ф., Євтушенка А.О., Ідельчика І.Є., Ковальова І.О., Кононенка А.П., Криля С.І., Луговського О.Ф., Меркулова А.П., Мочаліна Є.В., Орлова Б.В., Панченка А.І., Піралішвілі Ш.О., Приходька О.А., Семененка Є.В., Склабінського В.І., Соколова Є.Я., Солодова В.Г., Смірнова Є.М., Смолдирева А.Є, Струтинського В.Б., Сьоміна Д.О., Туріка В.М., Халатова А.А., Чальцева М.М., Чернецької-Білецької Н.Б., Яхна О.М., Klinzing G.E., Mills D., Menter F.R., Stephens D. W., Yin J. та ін., автор зробив висновок про перспективність використання струминних нагнітачів з вихровою камерою змішання в гідравлічних та

пневматичних системах із наявністю несприятливих умов експлуатації або при перекачуванні гетерогенних середовищ.

При цьому автор чітко сформулював задачі досліджень, зробивши акцент на використанні тривимірних моделей течії рідини до вирішення поставлених задач.

Однак, бажано було б провести огляд проблем моделювання течії у пристроях з вихровою камерою, допущень, візуалізації. Це дозволило б чітко сконцентруватися на окремих моментах досліджень, до яких автор дійшов згодом.

У другому розділі подано обґрунтування можливості передачі енергії з більш високими показниками енергоефективності в обмежених обертових потоках текучих середовищ, завдяки поєднання двох принципів передачі – за рахунок обміну кількістю руху та відцентрової сили. Позитивним моментом є те, що автор привів результати розрахунку отримання енергії елементом рідини, що дозволяє визначити очікуваний приріст енергії при переміщенні рідинного елемента на периферію вихрової камери.

Автором було показано структуру втрат енергії в вихровому ежекторі та можливість збереження частини енергії, яка втрачається за рахунок реалізації робочого процесу з використанням відцентрої сили. Особливого значення відцентрова сила має при перекачуванні твердих частинок, тому що при збереженні розподілу тиску в вихровій камері, сили інерції, внаслідок пропорційності масі твердого середовища, збільшуються.

Результатом досліджень стала концепція вихорокамерних нагнітачів. Таким чином, на відміну від класичних струминних нагнітачів, де використовується лише спосіб передачі енергії за рахунок обміну кількістю руху взаємодіючих потоків при зіткненні, яке супроводжується суттєвим дисипативним процесом, у вихорокамерних нагнітачах основну енергію частинки отримують переважно у консервативному полі за рахунок переміщення під дією відцентрової сили на периферію вихрової камери де несуча рідина має високі відносні значення потенціальної енергії, які можуть сягати 90% від затрачуваної енергії несучого середовища.

Однак обґрунтування процесу перекачування в полі відцентрової сили бажано було б зробити враховуючи нестационарність процесів, що відбуваються у вихрових камерах, враховуючи теплообмін, стискальність та масштабний фактор.

В третьому розділі подано результати верифікації розрахунків у вихорокамерних нагнітачах. Автором використано математичні моделі течії на основі DES та SST моделі турбулентності. Оцінено вплив виду та розміру сітки на точність розрахунку. Це дозволило сформулювати коректні межові умови, вибрати найкращу за точністю та часом розрахунку модель турбулентності, скоригувати її і підібрати на цій основі математичні моделі робочих процесів у вихорокамерних нагнітачах. Але не достатньо обґрунтовано чому саме автор вирішив зосередитися лише на обраних моделях турбулентності. Крім того, автором використане коригування SST моделі турбулентності внаслідок кривизни ліній струму та обертання потоку, але не зазначено яким чином було визначено константи, що входять до моделі та виправлення.

Використаний автором гібридний метод DES дозволив домогтися більш якісного опису картини течії, вихрових структур, зменшити похибку розрахунку

інтегральних параметрів. Але, внаслідок істотного ступеня подрібнення сітки, а, отже, істотного часу розрахунку і великих вимог до продуктивності комп'ютерної системи, автор в подальших досліджень застосував SST модель турбулентності з виправленням на кривизну ліній струму й обертання потоку. Необхідно зазначити, що під час верифікації математичних моделей течії доцільно було б провести порівняння з експериментальними даними не тільки за інтегральними параметрами, та розподілом тиску, але й за швидкостями.

У четвертому розділі описані експериментальні стенди, методики проведення й обробки результатів досліджень вихорокамерних нагнітачів.

Адекватність математичних моделей течії в вихорокамерних нагнітачах перевірялася різними способами, зокрема, зіставленням розрахункових картин течії картинам течії, отриманим експериментально, за інтегральними параметрами і порівнянням розрахункового розподілу тиску вздовж радіуса вихрової камери з експериментальними даними. Для ідентифікації математичної моделі прийняті точки з особливостями течії. При цьому розбіжність між розрахунковими значеннями й експериментальними не перевищує $\Delta \bar{p} = 0,1$. Порівнюючи картину течії, розраховану на математичній моделі з результатами візуалізації визначено їх якісну подібність. Результати верифікації та подальші моделювання роботи нагнітача, а також графіки порівняння показують якісний та кількісний збіг розрахункових розподілів тиску з експериментальними даними. Перевірка адекватності виконувалася на основі критерію Фішера з довірчою ймовірністю 0,95. Картини якісної оцінки, а також кількісна оцінка підтверджують адекватність математичних моделей.

Також в цьому розділі наведені дослідження поведінки газових пухирців та твердих частинок в нагнітачі. Тут, поряд з експериментальними дослідженнями, наведені теоретичні, бажано було б їм приділити окремий розділ.

Моделювання руху гетерогенного середовища зроблено на основі моделювання течії рідини з подальшим накладанням на розраховане поле, характеристик розрахунку твердих часток або пухирців. Слід зазначити, що доцільніше було б розраховувати гетерогенні середовища на основі підходу Ейлера, що дало б змогу оцінити концентрації газу або твердого середовища в різних областях вихрової камери та дати рекомендації щодо проектування нагнітачів.

Визначення траєкторій руху газових пухирців виконано для оцінки можливості створення вихрового шнура біля осі вихрової камери. Автором зазначено, що газовий пухирець може викидатися через осьовий канал вихрової камери разом з несучим середовищем, але ніяких рекомендацій щодо боротьби з вихровим шнуром потім не наведено. Також не наведено експериментальних характеристик роботи вихорокамерного нагнітача при існуванні шнура та без.

Автором наведено розрахункові картини зношування вихрової камери при транспортування сипучих середовищ із різною масовою витратою, але надалі рекомендацій щодо проектування нагнітачів з можливістю контролю зношування надано не було. Незрозуміло, чому результати зношування та подальше визначення довговічності й надійності нагнітачів не знайшли відображення у висновках та в сформульованій науковій новизні роботи.

В п'ятому розділі представлено удосконалення роботи вихорокамерних нагнітачів за роботи на однофазних середовищах, за рахунок покращення умов входу середовища, яке перекачується. Основною ідеєю оптимізації енергетичних характеристик є використання відомої з теорії струминних апаратів особливості вирівнювання швидкостей потоку та втрат енергії на цей процес. Чим менша різниця між швидкостями активного та пасивного потоку, тим меншою є втрата енергії та більший к.к.д. Для вихорокамерних нагнітачів це обумовило шлях оптимізації закрученням вхідного потоку та використанням кільцевого каналу. Однак, використання закручення потоку потребує спеціальних пристроїв, які, загалом кажучи, витрачають деяку енергію, але цей аспект в дисертації не роз'яснено та не зрозуміло чи враховано його при визначенні ефективності.

Також автором проведена оптимізація геометричних розмірів нагнітача та виявлені залежності основних критеріїв ефективності від зазначених розмірів. Але методика наведена досить стисло. Однак, з практичної точки зору, саме цей аспект в роботі є чи не найголовнішим, оскільки дозволяє пов'язати наукові положення з їх практичним втіленням у виробничу діяльність оптимізованих конструкцій нагнітачів. До того ж, оптимізація геометричних параметрів наведена лише за умови перекачування однофазних середовищ, хоча вихорокамерні нагнітачі мають широке кола використання, й насамперед перекачування середовищ із наявністю твердої фази.

За результатами досліджень автором отримано критерії геометричної, кінематичної й динамічної подібності на основі співвідношення трьох основних факторів подібності: геометричні розміри, тиск активного потоку на вході в пристрій, густина робочого середовища. Обґрунтованість отриманих критеріїв подібності підтверджена шляхом знаходження напірно-витратних характеристик трьох подібних режимів роботи нагнітача та їх подальше об'єднання на одній характеристиці. За бездренажного режиму роботи відхилення більшості точок становить не більше 10 %. Треба було б навести більш докладне порівняння з експериментальними даними.

У шостому розділі представлено результати практичного використання вихорокамерних нагнітачів у системах перекачування гетерогенних середовищ. На основі експериментальних досліджень нагнітачів отримано, що коефіцієнт ежекції за твердим тілом вихорокамерного нагнітача перевищує майже в два рази досяжний коефіцієнт ежекції за твердим тілом прямого струминного апарату. Це спричиняє значне зменшення необхідного тиску активного потоку та зниження необхідної потужності, що підводиться до апарату для забезпечення заданого коефіцієнта ежекції за твердим тілом.

Також автором наведено порівняння характеристик вихорокамерних нагнітачів із вихровими ежекторами на основі теоретичного розрахунку в програмному комплексі. Таке порівняння, без експериментальної перевірки, не є обґрунтованим, до того ж автором вказано про різну сутність робочих процесів вихорокамерних нагнітачів та ежекторів, що потребує додаткової верифікації математичних моделей, та на мою думку, краще було б все ж таки провести порівняння експериментальних характеристик. Якщо за перекачування гетерогенних середовищ порівняння відбувалося із прямоточними струминними апаратами, то для перекачування

однофазних середовищ автор обмежився порівнянням тільки з вихровими ежекторами.

На основі проведеного аналізу розроблені принципи побудови гідравлічних і пневматичних систем на базі струминних вихорокамерних нагнітачів. Представлена інженерна методика розрахунку, на основі якої виготовлена прототипи нагнітачів, викладено стисло і без додаткових пояснень та ремарок. Це знижує сприйняття цієї методики, та і в авторефераті автор обмежився лише декількома фразами й не навів навіть схеми розрахунку.

У висновках автор подає основні отримані ним наукові та практичні результати та зазначає, що в роботі розв'язана науково-практична проблема підвищення техніко-економічної ефективності гідравлічних і пневматичних нагнітачів, що перекачують рідини в несприятливих умовах експлуатації або гетерогенні середовища, за рахунок розробки і використання принципово нового типу струминних нагнітачів відцентрової дії. Розроблені теорія та методи розрахунку струминних вихорокамерних нагнітачів для перекачування середовищ різних агрегатних станів.

Завершують дисертацію **додатки**, які містять матеріали стосовно впровадження результатів дисертаційної роботи, патенти на корисні моделі та програми розрахунку траєкторій руху пухирців.

8. Оцінка змісту дисертації.

Дисертаційна робота має всі необхідні розділи, які достатньо повно розкривають проведені автором дослідження – від ґрунтового аналізу існуючих теоретичних та технічних рішень і опису використання струминних нагнітачів до впровадження у виробництво. Стель викладення і мова дисертації відповідають вимогам, що ставляться до дисертаційних робіт.

9. Зауваження до дисертації та автореферату.

1. В дисертації запропоноване принципово нове вирішення проблеми техніко-економічної ефективності гідравлічних і пневматичних систем під час перекачування гетерогенних середовищ за рахунок використання струминної техніки. Але застосування вихорокамерних нагнітачів приводить до ряду побічних ефектів, зокрема необхідність в додатковому насосі високого тиску та бункеру для збирання середовища у дренажному каналі, наявність вихрового шнура. Доцільно розглянути можливі способи та технічні рішення щодо мінімізації впливу цих ефектів у промислових умовах.

2. Обґрунтування можливості перекачування (п. 2.2) бажано було б провести за допомоги гідродинамічних підходів до обертових течій використовуючи тензорний аналіз та вирішення рівнянь збереження кількості руху. Це дозволило б більш обґрунтовано розглянути процес перекачування та отримати рівняння щодо граничних значень ККД таких процесів у вихровій камері.

3. При формуванні математичної моделі (Розділ 2) бажано дати аналіз зроблених припущень, зокрема щодо відсутності врахування теплофізичних параметрів, стисливості рідин, а також реологічних законів.

4. Верифікацію математичних моделей течії (Розділ 3) доцільно було б провести шляхом порівняння із більшою кількістю експериментальних даних, наприклад за розподілом швидкостей при різних геометричних параметрах. До того ж бажано було перевірити більшу кількість моделей турбулентності, варіювати граничні умови, порівнювати результати стаціонарних та нестаціонарних розрахунків.

5. Для обґрунтування діапазонів та можливості використання нагнітачів під час перекачування рідин із наявністю розчиненого повітря (п. 4.8), на мою думку, необхідно було провести розрахунки просторової двофазної газорідинної суміші, виявити зони з великими концентраціями повітря, дати залежності щодо впливу газовмісту на енергетичні характеристики нагнітачів.

6. Частина експериментального матеріалу (рис. 4.10, 4.15, 4.16) наведено в розмірному вигляді. Доцільно було б використати критерії подібності або осереднення для того, щоб узагальнити результати та дати можливість їх використання для проектування нагнітачів іншого типорозміру.

7. Методику інженерного розрахунку вихорокамерних нагнітачів (Розділ 5) бажано подати в більш систематизованому вигляді. Більш докладно пояснити різницю між розрахунком геометричних параметрів нагнітачів гетерогенного середовища та однофазного середовища. У розділі 5, п. 5.1-5.3 наведено оптимізацію геометричних параметрів при перекачуванні однорідних середовищ, але використання цих висновків під час проектування нагнітачів багатофазних середовищ не обґрунтовано.

8. За дисертацією та авторефератом є зауваження редакційного характеру. В окремих формулах і рисунках відсутні позначення. Не вдале використання термінів.

Заключна оцінка дисертаційної роботи

1. Дисертаційна робота Рогового Андрія Сергійовича на тему «Розробка теорії та методів розрахунку вихорокамерних нагнітачів» є закінченою роботою, яка має наукову новизну, практичну значимість та цінність, про що свідчать акти впровадження отриманих результатів, та представлені у додатках патенти на корисні моделі. В роботі отримано нові науково обґрунтовані результати, що в сукупності вирішують актуальну науково-технічну проблему підвищення техніко-економічної ефективності гідравлічних і пневматичних нагнітачів, що перекачують рідини в несприятливих умовах експлуатації або гетерогенні середовища, за рахунок розробки і використання принципово нового типу струминних нагнітачів відцентрової дії.

2. Виконані дослідження відповідають спеціальності 05.05.17 – гідравлічні машини та гідропневмоагрегати. Робота відповідає паспорту спеціальності спеціалізованої вченої ради Д64.050.11 у Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут».

3. Автореферат повністю розкриває зміст дисертаційної роботи, та відповідає вимогам щодо оформлення авторефератів.

4. Опубліковані роботи, статті у провідних фахових виданнях, тексти доповідей на науково-технічних конференціях, повністю відображають основні

результати досліджень і маються у достатній кількості; робота потужно і всебічно апробована на міжнародних науково-технічних конференціях.

5. Зазначені недоліки суттєво не знижують наукову новизну та практичну цінність дисертаційної роботи, не впливають на висновки і рекомендації практичного характеру.

Вважаю, що дисертаційна робота «Розробка теорії та методів розрахунку вихорокамерних нагнітачів» є завершеною науковою працею, що відповідає вимогам п.п. 9, 10, 12 «Порядку присудження наукових ступенів», щодо докторських дисертацій, а її автор – Роговий Андрій Сергійович – заслуговує на присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.05.17 – гідравлічні машини та гідропневмоагрегати.

Офіційний опонент:

завідувач кафедри конструювання
верстатів і машин

Національного технічного університету України

«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»,

Заслужений діяч науки і техніки України

доктор технічних наук, професор

В.Б. Струтинський

Підпис д.т.н., проф. Струтинського В.Б. засвідчую

Вчений секретар

Національного технічного університету України

«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»



А.А. Мельниченко

Відзив надійшов «25» 05, 2017

Вчений секретар спец. ради

264050.11

Дурін Ю.О.

