

ВІДГУК

офіційного опонента Луговського Олександра Федоровича
на дисертаційну роботу Баги Вадима Миколайовича
«Наукові основи гідромеханічних процесів
абразивоструменевого оброблення поверхонь»,
представлену на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук
за спеціальністю 05.05.17 – гідравлічні машини та гідропневмоагрегати

Актуальність теми

Пневмоабразивне обладнання набуло широкого розповсюдження в багатьох сферах з часів створення джерел стисненого повітря. Однак, не дивлячись на широку сферу застосування різного роду сопел та насадків в багатьох установках та технічних пристроях, зокрема в абразивоструменевому обладнанні, існують суттєві резерви по підвищенню їх ефективності. В теперішній час, в умовах здорожчання та необхідності економії енергетичних ресурсів, є актуальним питання підвищення ефективності роботи абразивоструменевого обладнання. Одним з ключових елементів абразивоструменевого обладнання є робоче сопло, робота якого впливає на витрати споживаного повітря, абразивного матеріалу, електричної енергії на привід компресора, часу обробки метра квадратного поверхні матеріалу та технічні показники абразивоструменевого обладнання. Актуальною проблемою є необхідність розробки нової, більш ефективної, конструкції робочого сопла абразивоструменевого обладнання, що б дало змогу, без підвищення значень робочого тиску спрацювання сопла, отримати максимально можливі значення швидкості абразивних частинок на виході, значення сили реакції струменя та інші технологічні параметри абразивоструменевого оброблення поверхонь матеріалів. Важливим також є технологічність конструкції сопла. Воно повинно бути відносно недорогим, швидкоз'ємним та забезпечувати якісну обробку поверхонь у важкодоступних місцях.

Завдяки виконаному удосконаленню конструкції робочого сопла абразивоструменевого обладнання вдалося суттєво підвищити ефективність абразивоструменевого оброблення поверхонь матеріалів, знизити витрати часу на обробку квадратного метра матеріалу, кількість споживання дорогого абразивного матеріалу та стисненого повітря. Вагомим здобутком також є створення математичної моделі процесу передавання енергії від робочого потоку до частинок абразивної суміші та розробка спеціального пристрою для очищення внутрішніх каналів довгих труб.

Актуальність теми роботи підтверджується так само й тим, що вона пов'язана з виконанням тематики держбюджетного фінансування науково-дослідної роботи «Розробка мобільної ежекторно-очисної установки для відновлення будівель, споруд та техніки після пожеж у військовий період» (державна реєстрація № 0124U000636, договір № 51.15.01-24/26.ЗП-01).

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

Рівень обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, представлених у дисертаційній роботі Баги В.М., є високим. Він ґрунтується на глибокому аналізі науково-технічної літератури з відповідної тематики, чітко сформульованих меті та завданнях дослідження, на порівнянні та критичному аналізі отриманих результатів, розглянутих наукових праць. Висновки сформульовано чітко з наведенням конкретних числових значень чи практичних рекомендацій. Теоретична частина дисертаційної роботи включає в себе математичні моделі та методи аналізу отриманих результатів по дослідженню робочого процесу в соплі абразивоструменевого обладнання. Практична частина містить серію експериментальних досліджень роботи абразивоструменевих сопел. Верифікація одержаних результатів підтверджується їх зіставленням з фізичним експериментом.

Достовірність результатів досліджень

Достовірність, отриманих у дисертаційному дослідженні результатів, забезпечується шляхом порівняння результатів числового моделювання з експериментальними даними, а також розробленими та уточненими математичними моделями. Практичну цінність наукових результатів підтверджено їх впровадженням на вітчизняних промислових підприємствах.

Наукова новизна результатів дослідження:

- вперше створено науково-теоретичні основи гідромеханічних процесів у робочих перфорованих соплах під час абразивоструменевого оброблення поверхні з урахуванням гідродинамічних сил та пористого насадку, що дозволяє вибирати раціональні режими роботи пневмоабразивного обладнання;
- вперше одержано аналітичні залежності для опису робочого процесу повітряно-абразивної суміші в робочому соплі на основі запропонованої математичної моделі передавання енергії робочим потоком дисперсній фазі та оброблюваній поверхні, нестационарного руху повітряно-абразивної суміші й розподілу дисперсних частинок абразивного матеріалу у виділеному об'ємі, що дало змогу оцінити взаємозв'язок між геометричними та режимними параметрами витікання стисненого повітря та абразивного матеріалу через сопло;
- вперше обґрунтовано підвищення ефективності пневмоабразивного обладнання накладанням механічних коливань унаслідок інтенсифікації процесу витікання повітряно-абразивної суміші з робочого сопла ежекторно-очисного обладнання, створення нових, більш ефективних конструкцій проточної частини сопла завдяки зменшенню опору руху робочої суміші;
- вперше встановлено закономірності процесу ерозії поверхонь матеріалу та робочого сопла під час абразивоструменевого оброблення на основі розробленої математичної моделі, параметри якої оцінені за даними експериментальних досліджень, що дало змогу достовірно визначити

кількісні характеристики процесу завдяки врахуванню сил Бассе в дробово-диференціальній формі;

- вперше запропоновано науковий підхід до визначення впливу геометричних параметрів на коефіцієнт витрати сопла для повітряно-абразивної суміші в каналі змінного перерізу з урахуванням газодинамічної взаємодії робочого потоку з оброблюваною поверхнею, що дозволило уточнити швидкість зношування внутрішньої поверхні абразивоструменевого сопла.

Повнота викладення результатів досліджень в опублікованих працях

Результати дисертаційної роботи опубліковано в 37 наукових працях, із яких: статті в наукових фахових виданнях із переліку МОН України – 12 (зокрема, індексованих наукометричними базами даних Scopus та/або Web of Science – 3, із яких із квантилем Q2 – 2, квантилем Q3 – 1), статті в міжнародних виданнях, індексованих базами даних Scopus та/або Web of Science – 9 (зокрема, із квантилями Q1–Q2 – 5, квантилем Q3 – 1), публікації в матеріалах та працях конференцій – 13 (зокрема, індексованих базою даних Scopus – 2, із яких із квантилем Q3 – 1), патенти України на корисну модель – 2, дослідницькі дані (FAIR-дані) – 1.

Рівень, кількість публікацій та апробації матеріалів дисертації повністю відповідає вимогам МОН України.

Практичне значення результатів дослідження

Здобувачем розроблено мобільну пневмоабразивну установку, яка не має аналогів у світі. Використання нових запропонованих конструкцій робочих сопел дає змогу зменшити у 2,5 рази витрату стисненого повітря та абразивного матеріалу, що суттєво знижує вартість абразивоструменевої обробки. Розроблено алгоритми щодо розрахунку та проектування робочих сопел для абразивоструменевого оброблення поверхонь матеріалів. Одержані результати дисертаційного дослідження дали змогу розробити нові та вдосконалити існуючі конструкції абразивоструменевих сопел, які впроваджені у виробничу діяльність ТОВ «Карбаз», ТОВ «Боско», ТОВ «НВП «Метекол».

Наукові та практичні результати дисертаційної роботи впроваджено в навчальний процес Сумського державного університету за освітньою програмою «Компресори, пневмоагрегати та вакуумна техніка» освітнього ступеня «магістр» спеціальності 142 «Енергетичне машинобудування» й за освітньою програмою «Опалення, вентиляція, кондиціонування та штучний холод» освітнього ступеня «бакалавр» спеціальності 142 «Енергетичне машинобудування», навчальний процес Військової академії (м. Одеса) з підготовки курсантів за спеціалізацією «Експлуатація та ремонт ракетно-артилерійського озброєння», в проведення навчального тренінгу керівного складу та провідних фахівців із ТОВ «Карбаз» і ТОВ «Боско».

Оцінка змісту дисертаційної роботи

Дисертаційна робота Баги Вадима Миколайовича складається зі вступу, шести розділів, висновків, переліку використаних джерел та 2 додатків.

У вступі обґрунтовано напрямок досліджень та вказана актуальність виконання глибоких наукових досліджень, спрямованих на вирішення проблеми підвищення ефективності роботи сопла абразивоструменевого обладнання.

У *першому розділі* якісно проаналізовано та узагальнено теоретичний опис газодинамічних процесів витікання повітряно-абразивної суміші через сопла різних геометричних форм, що працюють на повітряно-абразивній суміші з урахуванням реальних властивостей течії на її структуру з метою пошуку резервів щодо підвищення ефективності робочого сопла та обґрунтування напрямів наукових досліджень. Але не вистачає більш чіткого опису впливу абразивного матеріалу на роботу самого сопла, оскільки в техніці має місце широке застосування однієї конфігурації сопла для роботи на різних середовищах, як однофазних так і двофазних з різними їх фізичними властивостями. Також непогано було б додати порівняльну таблицю з показниками ефективності існуючих конструкцій сопел та формули по розрахунку їх величини витрати. Розглянуто значну кількість існуючих конструкцій сопел, проаналізовано та узагальнено теоретичний опис газодинамічних процесів, протікаючих в середині сопла, що дало змогу виявити невикористані резерви по підвищенню ефективності абразивоструменевих робочих сопел. Постановка завдань є чітко визначеною.

Другий розділ присвячено методології наукових досліджень. Здобувач використовував сучасні методи аналітичних та експериментальних досліджень та розробив методи оцінювання параметрів математичних моделей за результатами експериментальних досліджень, що є елементом новизни в роботі. Доцільно було б приділити більше уваги опису використаних моделей при числовому моделюванні, навести порівняльні залежності по впливу виду розрахункової сітки та застосування локальних адаптацій на результат розрахунку. Експериментальний стенд має здатність до виконання контролю багатьох параметрів, таких як витрата повітря та абразивного матеріалу, сила реакції струї, контроль значень тисків у багатьох елементах установки, можливість накладання вібрації, візуалізація течії та ін., що дозволяє виконати глибоке системне дослідження витікання повітряно-абразивної суміші з абразивоструменевого сопла в широкому діапазоні геометричних та режимних параметрів.

У *третьому розділі* «Наукові основи гідромеханічних процесів абразивоструменевого оброблення поверхонь» викладено науково-теоретичні основи процесу абразивоструменевого оброблення поверхонь матеріалів. Виконано дослідження гідродинаміки повітряно-абразивного потоку в абразивоструменевому соплі за умови накладання вібрації. Уточнено математичну модель руху частинок дисперсної фази в газовому потоці. Виведено залежність для визначення кута відхилення

дисперсних частинок у абразивоструменевому соплі. Аналітично встановлено залежність кута відхилення частинок дисперсної фази від частоти накладених коливань. Експериментально встановлено значення кутів розпилення в діапазоні $2\theta = 3-8^\circ$ для різних частот коливань.

У розділі наведено значну кількість аналітичних формул, які здатні враховувати реальність досліджуваного процесу та повною мірою описувати робочий процес течії повітряно-абразивної суміші, як в середині сопла, так і за його межами. Спостерігається не повний супровід пояснень аналітичних виразів в силу їх великої об'ємності.

Четвертий розділ «Експериментальні та числові дослідження робочого процесу в пневмоабразивному обладнанні» містить наукові основи витікання повітряно-абразивної суміші через робоче сопло пневмоабразивного обладнання. Розглянуто питання гідродинаміки повітряно-абразивної суміші в робочому соплі. Відпрацьовано алгоритм числового та фізичного моделювання робочого процесу в соплі пневмоабразивного обладнання. Вражає велика кількість виконаних експериментальних досліджень та їх гарна сходимість із отриманими результатами числового моделювання, але хотілося б бачити більше аналізу отриманих результатів. Здобувач розглянув практично всі конструкції абразивоструменевих сопел, що мають широке розповсюдження у практичному використанні з наведенням візуалізацій течії. Особливістю виконаних досліджень є наявності твердої фази – абразивного матеріалу, що суттєво ускладнює робочий процес в соплі. Здобувачу вдалося не тільки отримати достовірні результати, виконати так звану “обкатку” математичної моделі, ще й знайти невикористані резерви по підвищенню ефективності абразивоструменевих сопел. Не вистачає порівняльного графіку чи таблиці, де були б наведені різні види сопел, що працюють на воді, повітрі, водяній парі без абразивних включень та з ними. Це прикрасило б дану роботу. Також доцільно було б вказати діапазони необхідних значень тисків, що необхідно забезпечити для ефективної роботи сопла.

П'ятий розділ «Вплив геометричних та режимних параметрів абразивоструменевого сопла на робочий процес пневмоабразивного обладнання» містить результати числових та фізичних досліджень різних конструкцій абразивоструменевих сопел в широкому діапазоні геометричних та режимних параметрів, зокрема встановлено різницю у структурі течії в робочих соплах із різними внутрішніми діаметрами в діапазоні 7–20 мм. Здобувачу вдалося підвищити енергоефективність компресорного обладнання для пневмоабразивної установки на 20% за рахунок застосування більш ефективних сопел, що суттєво знижує вартість обробки поверхні матеріалу.

Також встановлено вплив діаметра частинок на ефективність сопла. Чим дрібніша фракція, тим більшу швидкість вона має. Отримано якісні візуалізації течії повітряноабразивної суміші, як в середині сопла, так і за його межами, але не вистачає аналізу цих візуалізацій.

Здобувачем було встановлено доцільність застосування накладання вібрацій, як на ємність із піском за допомогою вібратора з частотою 40–60 Гц, так і на саме сопло, що сприяло усуненню залипання піску в ємності та рівномірному розподілу абразивних частинок на виході з сопла, що покращило якість та скоротило час абразивоструменевого оброблення. Варто було б виконати аналіз впливу частоти коливань на ефективність роботи абразивоструменевого сопла.

В цілому розділ насичений новим матеріалом, та має практичне значення.

У шостому розділі «Практична реалізація результатів дисертаційного дослідження» представлені нові конструкції робочих сопел для застосування на практиці. В рамках дисертаційної роботи розроблено пристрій для чистки внутрішніх каналів довгих труб, який можна використовувати для очищення нарізних артилерійських стволів. Запропоновано використання таких пристроїв, що мають різну геометричну форму підвідних каналів, по яким рухається повітряноабразивна суміш, що робить їх універсальними.

Одержано кількісні характеристики руху твердих частинок повітряноабразивної суміші, що дало змогу зменшити кількість виготовлених зразків для перевірки дієздатності розробленого пристрою. До недоліків розділу можна віднести відсутність глибокого аналізу одержаних результатів.

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 402 найменувань.

Зміст автореферату відображає основний зміст дисертації та достатньо повно розкриває внесок здобувача в наукові результати та практичну цінність роботи.

Зв'язок докторської дисертації з кандидатською. Положення та висновки, захищені здобувачем у кандидатській дисертації, в тексті докторської дисертації не виявлені.

Дискусійні положення дисертаційної роботи

По дисертаційній роботі можна зробити наступні зауваження:

- бракує більш чіткого опису впливу абразивного матеріалу на роботу самого сопла;
- доцільно було б додати порівняльну таблицю з показниками ефективності існуючих конструкцій сопел та формули по розрахунку їх величини витрати;
- недостатньо описані використані моделі числового моделювання. Варто було навести порівняльні залежності щодо впливу виду розрахункової сітки, граничних умов та локальних ефектів на результати числових розрахунків;
- з огляду на значний обсяг теоретичних залежностей, спостерігається недостатньо повний супровід пояснень до аналітичних виразів;

- доцільно було б надати ширший аналіз результатів числових моделювань;
- не вистачає порівняльного графіку чи таблиці, де були б наведені різні види сопел, що працюють на воді, повітрі, водяній парі, як без абразивних включень, так і з ними;
- доцільно було б зазначити діапазони робочих значень тисків, необхідних для забезпечення ефективної роботи сопла;
- варто було б виконати аналіз впливу частоти накладених коливань не лише на кут розпилу, але й на ефективність роботи абразивоструменевого сопла;
- текст рукопису дисертації має неточності, зокрема поодинокі орфографічні та синтаксичні помилки.

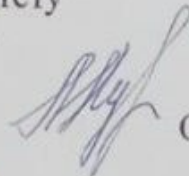
Проте, вказані недоліки не впливають на загальну позитивну оцінку виконаної дисертаційної роботи.

ВИСНОВОК

Дисертаційна робота Баги Вадима Миколайовича «Наукові основи гідромеханічних процесів абразивоструменевого оброблення поверхонь» 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 удосконаленні гідромеханічних процесів абразивоструменевого оброблення поверхонь шляхом розроблення науково-теоретичних основ процесу абразивоструменевого оброблення поверхонь матеріалів. Дисертаційна робота відповідає вимогам пп. 7, 8, 9 «Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 17 листопада 2021 року № 1197, а здобувач Бага Вадим Миколайович, заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.05.17 – гідравлічні машини та гідропневмоагрегати.

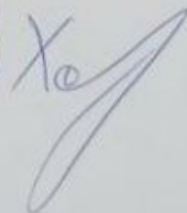
Офіційний опонент:

науковий керівник кафедри прикладної
гідроаеромеханіки та механотроніки
Національного технічного університету
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»,
доктор технічних наук, професор



Олександр ЛУГОВСЬКИЙ

Вчений секретар
Національного технічного університету
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»,
кандидат технічних наук, доцент

Валерія ХОЛЯВКО