

## ВІДГУК

офіційного опонента Ольштинського Павла Леонідовича  
на дисертаційну роботу Москаленка Владислава Вікторовича  
**«Покращення експлуатаційних характеристик насосів типу Д шляхом  
зниження інтенсивності пульсацій тиску у їх проточній частині»**,  
представлену на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук  
за спеціальністю 05.05.17 – гідравлічні машини та гідропневмоагрегати

### **Актуальність теми.**

Експлуатація насосних станцій на режимах недовантаження за подачею негативно впливає на надійність та ресурс роботи насосних установок, оскільки супроводжується підвищеною гідродинамічною вібрацією основних вузлів насоса. Особливо гостро це питання стоїть у галузі водопостачання, зокрема на насосних станціях житлово-комунального господарства, нафтохімічної та енергетичної галузі України, так як, проектування насосних станцій здійснювалось на основі типового підбору насосного обладнання з надлишковим запасом по продуктивності. Наукові пошуки щодо покращення експлуатаційних характеристик насосів досить довгий час велись насособудівними підприємствами, однак всі вони мали несистемний та локальний характер. Тому, дослідження впливу конструкційних та робочих параметрів насоса на інтенсивність пульсацій тиску у його проточній частині з використанням системного підходу, що забезпечується можливостями числового моделювання, є актуальною та дозволить знизити гідродинамічну вібрацію основних вузлів насосного агрегату, що покращить його експлуатаційні характеристики та збільшить ресурс роботи його основних вузлів.

Актуальність теми підтверджується тим, що дисертаційна робота виконувалася згідно з планом науково-дослідних робіт кафедри прикладної гідроаеромеханіки Сумського державного університету відповідно до науково-технічної програми Міністерства освіти і науки України. Окремі положення дисертаційної роботи розроблялися при виконанні науково-дослідної роботи «Дослідження робочих процесів насосів і приводів» (№ ДР 0114U000069).

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

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі Москаленка В.В. 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 фізичних явищ, які мають місце у відцентрових насосах спірального типу, виконано з використанням сучасного числового моделювання нестационарної течії рідини на основі сучасного математичного апарату. Отримані результати перевірені шляхом порівняння деяких числових та фізичних експериментів, та шляхом порівняння розрахункових картин інтенсивності пульсацій тиску з відомими раніше експериментальними картинами, що підтверджує обґрунтованість наукових положень, висновків та рекомендацій.

#### **Достовірність результатів досліджень.**

Достовірність результатів дисертаційного дослідження забезпечується коректністю постановок математичних задач, проведенням верифікації моделей течії шляхом зіставлення з експериментальними даними характеристик відцентрових насосів типу Д, застосуванням стандартних процедур математичного аналізу й методів математичної фізики, відповідністю змісту математичних конструкцій фізичній суті описуваних процесів. Точність та достовірність отриманих експериментальних даних була забезпечена використанням методики проведення випробувань згідно стандарту ДСТУ 6134-2009 (ISO 9906:1999) «Насоси динамічні. Методи випробувань».

Наукові результати здобувача успішно використані під час проектування і модернізації насосів, що виробляє ТОВ «Сумський машинобудівний завод».

**До основних нових наукових результатів дисертації слід віднести наступне:**

- вперше визначено взаємозв'язок між середньоквадратичним значенням (СКЗ) віброшвидкості корпусу підшипника на лопатевій частоті насоса типу Д та СКЗ амплітуди лопатевих пульсацій тиску на його виході, що дозволило визначити коефіцієнт їх кореляції;

- вперше проведено порівняння величину впливу конструкційних параметрів проточної частини насоса типу Д ( $z_1, b_1, b_2, D_3/D_2, \varphi, \psi, z_2$ ) та його основних робочих параметрів ( $Q, n$ ) на амплітуду пульсацій тиску рідини на виході з робочого колеса, що дозволило визначити величину відносної зміни СКЗ амплітуди пульсацій тиску в залежності від величини відносної зміни конструкційних та/або робочих параметрів насоса;

- вперше отримано математичні залежності відносної зміни СКЗ амплітуди пульсацій тиску в залежності від величини відносної зміни конструкційних та/або робочих параметрів насоса типу Д, що дозволяє екстраполювати результати дослідження та знизити інтенсивність пульсацій тиску у проточній частині відцентрових насосів спірального типу на етапі їх розробки та/або модернізації;

- знайшли подальший розвиток уявлення про механізм та фізичну природу збільшення амплітуди пульсацій тиску з лопатевою частотою у проточній частині відцентрового насоса при його експлуатації в режимах недовантаження за подачею.

### **Значимість отриманих результатів для науки і практичного використання.**

Автором сформовано перелік ефективних способів зменшення амплітуди пульсацій тиску на виході з робочого колеса насосів типу Д, що дозволяють знизити лопатеву вібрацію насосів тим самим збільшуючи надійність та ресурс роботи їх основних вузлів. Отримані автором математичні залежності щодо відносної зміни інтенсивності пульсацій тиску в залежності від відносної зміни конструкційних та/або робочих параметрів насоса дозволили надати рекомендації щодо корегування основних геометричних параметрів робочого колеса насосів типу Д, які використовуються під час проектування та модернізації насосів, що виробляє ТОВ «Сумський машинобудівний завод». Доповнена методика техніко-економічної оцінки доцільності проведення модернізації дозволила визначити нижню межу значень різниці показника питомих витрат електроенергії на перекачування одиниці об'єму рідини, за якої термін окупності заходу з модернізації робочого колеса насоса типу Д не перевищує середнього терміну його експлуатації.

У дисертації отримано нові наукового обґрунтовані результати, що вирішують науково-практичну задачу, що полягає в розробці ефективних способів зниження гідродинамічної вібрації діючих насосів типу Д у джерелі виникнення. Модернізація насосів з цією метою дозволить знизити витрати на обслуговування та ремонт їх основних вузлів, у результаті чого, зменшиться загальна вартість життєвого циклу насосних установок з використанням насосів типу Д.

### **Повнота викладення результатів досліджень в опублікованих працях.**

Основні положення та результати дисертаційної роботи достатньо повно опубліковані у 9 наукових працях, серед яких: 2 наукові статті у фахових виданнях України, 2 наукові статті у виданнях, що входять до наукометричної бази Scopus, 1 стаття у колективній монографії, 1 стаття у науково-практичному журналі, 3 – у матеріалах конференції. У цілому, рівень і кількість публікацій та апробації матеріалів дисертації на конференціях повністю відповідають вимогам МОН України.

### **Оцінка змісту дисертаційної роботи:**

Дисертаційна робота Москаленка В.В. складається із анотації двома мовами, вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків.

У вступі обґрунтовано актуальність та доцільність представленої роботи. Сформульовані мета, задачі, наукова новизна та практична цінність. Структура

представлення основних положень проведеного дослідження у вступі відповідає встановленим вимогам.

У першому розділі наведено огляд науково-технічних джерел щодо умов виникнення, видів та причин гідродинамічної вібрації основних вузлів відцентрового насоса. Проведено аналіз експериментальних досліджень щодо інтенсивності пульсацій тиску у проточній частині відцентрового насоса та їх взаємозв'язку з гідродинамічною вібрацією його основних вузлів, визначено можливість постановки числового експерименту як методу дослідження інтенсивності пульсацій тиску у проточній частині відцентрового насоса.

Загалом, зазначено, що гідродинамічна вібрація насоса є наслідком пульсацій тиску рідини у його проточній частині, а оцінювання інтенсивності пульсацій тиску є одним з реальних способів отримання непрямым методом інформації щодо інтенсивності гідродинамічної вібрації насоса на етапі його розробки. Оскільки, багатofакторність причин та механізмів виникнення пульсацій тиску у проточній частині насоса ускладнює визначення їх величини простими аналітичними методами, то в якості методу дослідження інтенсивності пульсацій тиску у проточній частині відцентрового насоса обґрунтовується вибір числового моделювання нестационарної течії рідини з використанням ПП Ansys CFX

За результатами літературного огляду сформовано необхідність у подальших системних дослідженнях щодо визначення впливу основних конструкційних та/або робочих параметрів насоса типу Д на амплітуду пульсацій тиску та визначенні взаємозв'язку між інтенсивністю гідродинамічної вібрації основних вузлів насоса типу Д та інтенсивністю пульсацій тиску рідини у його проточній частині

У другому розділі описано основні методи дослідження, що використовувалися в роботі та наведено результати експериментальних та числових досліджень параметрів робочого процесу насосів типу Д. Предметом дослідження є вібраційний стан основних вузлів відцентрового насоса в залежності від інтенсивності пульсацій тиску на його виході за різних режимів експлуатації насосного агрегату, об'єктом дослідження є робочий процес відцентрового насоса Д2000-100-2 зі спіральним відводом.

Для визначення можливості та коректності застосування числового моделювання для дослідження інтенсивності пульсацій тиску проведено порівняння результатів фізичного експерименту робочого процесу насоса та його числового моделювання на основі вирішення рівнянь Нав'є-Стокса та Рейнольдса у тривимірній постановці з використанням ПП ANSYS CFX. Фізичний експеримент здобувачем проведено на насосній станції оборотного водопостачання цеху з виробництва сірчаної кислоти №4 підприємства ВАТ «Суміхімпром» згідно

чинного ДСТУ 6134:2009 «Насоси динамічні. Методи випробування» та ДСТУ ISO 10816-3:2014 «Вібрація. Контролювання стану машин за результатами вимірювання вібрації на необертюваних частинах». Загалом методика дослідження викладено якісно і в достатній мірі.

За результатами дослідження автором визначено коефіцієнт кореляції між середньоквадратичним значенням (СКЗ) віброшвидкості корпусу підшипника на лопатевій частоті насоса типу Д та СКЗ амплітуди лопатевих пульсацій тиску на його виході, встановлено граничне значення амплітуди пульсацій тиску у проточній частині, що дозволяє на етапі розробки та/або модернізації насосів типу Д передбачити інтенсивність лопатевої вібрації їх основних вузлів.

У третьому розділі за результатами числового моделювання уточнено механізм та фізичну природу збільшення амплітуди пульсацій тиску з лопатевою частотою у проточній частині відцентрового насоса типу Д при його експлуатації на режимах недовантаження за подачею. Здобувачем описано інтенсивність пульсацій тиску на виході з робочого колеса насоса за допомогою синусоїдальної функції та визначено експоненціальну залежність відносної зміни амплітуди пульсацій від відносної подачі насоса.

Здобувач проаналізував вплив основних конструкційних та робочих параметрів відцентрового насоса типу Д на його інтегральні характеристики і на амплітуду пульсацій тиску на виході з робочого колеса. За результатами аналізу сформовано перелік ефективних способів зменшення амплітуди пульсацій тиску на виході з робочого колеса насосів типу Д та визначено математичні залежності величини відносної зміни амплітуди пульсацій тиску і відносної зміни величини напору в залежності від величини відносної зміни конструкційних та/або робочих параметрів насоса типу Д. Дані математичні залежності дозволяють екстраполювати результати дослідження та знизити інтенсивність пульсацій тиску у проточній частині відцентрових насосів на етапі їх розробки або модернізації.

Проведені розрахунки дають підстави стверджувати про всебічний аналіз величини впливу конструкційних та/або робочих параметрів насоса на амплітуду пульсацій тиску. За результатами розрахунку рекомендовано провести корегування основних геометричних параметрів робочого колеса насосів типу Д.

У четвертому розділі проведено факторний експеримент за для формування рекомендацій щодо корегування основних геометричних параметрів робочого колеса існуючих насосів типу Д. При проведенні факторного експерименту розглянуто конструктивну схему робочого колеса двохстороннього входу зі взаємним зсувом лопатей на  $1/2$  кроку один відносно одного. Визначено нижню межу значень різниці показника питомих витрат електроенергії на перекачування

одиниці об'єму рідини, за якої термін окупності заходу з модернізації робочого колеса насоса типу Д не перевищує середнього терміну його експлуатації.

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 із 77 найменувань.

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

**По дисертаційній роботі можна зробити наступні зауваження:**

1. В останньому пункті визначення наукової новизни не розкрита її суть, хоча в тексті роботи і автореферату вона наведена.

2. Здобувач стверджує, що отримані в роботі теоретичні результати підтверджуються експериментальними даними інших авторів. Проте, стислої порівняльної інформації, про які результати йде мова, які автори їх отримали і що конкретно підтверджуються, не наведено.

3. Під час проведення верифікації розрахунку течії в насосі доцільно було б порівнювати не тільки інтегральні показники такі як напір, ККД та потужність, за якими використання більшості моделей турбулентності можна вважати прийнятним, але й розподіли тисків та швидкостей.

4. Оцінку достовірності математичного моделювання краще було б провести за статистичними критеріями Фішера, Стюдента та ін., що дозволило б більш обґрунтовано стверджувати про адекватність розрахунків.

5. Для формування рекомендацій щодо корегування основних геометричних параметрів робочого колеса насоса типу Д корисно було б дослідити більшу кількість основних факторів корегування (конструкційних та/або робочих параметрів насоса) та збільшити діапазон їх варіювання.

6. В дисертації відсутні розрахунки економічного ефекту від модернізації робочого колеса відцентрових насосів типу Д. Крім того, автором заявлено про формування рекомендацій щодо корегування основних геометричних параметрів робочого колеса насосів типу Д, але не наведено даних про використання цих рекомендацій та створення насоса з оптимальними характеристиками, що має більш високий ККД, напір чи інші економічні параметри.

7. Оскільки дисертаційна робота у більшості своїй теоретична, то в кінці доцільний був би розділ «Рекомендації щодо використання результатів роботи».

Вказані недоліки не впливають на загальну позитивну оцінку виконаної роботи.

## ВИСНОВОК

Дисертаційна робота Москаленка Владислава Вікторовича “Покращення експлуатаційних характеристик насосів типу Д шляхом зниження інтенсивності пульсацій тиску у їх проточній частині” за своїм змістом відповідає паспорту спеціальності 05.05.17 – гідравлічні машини та гідропневмоагрегати. Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, яка розв’язує важливу наукову задачу, суть якої полягає в зниженні гідродинамічної вібрації основних вузлів відцентрового насоса спірального типу на основі досліджень впливу основних конструкційних та робочих параметрів відцентрового насоса типу Д на інтенсивність пульсацій тиску у його проточній частині. Дисертаційна робота відповідає вимогам п.п. 9, 11, 12 “Порядку присудження наукових ступенів”, щодо кандидатських дисертацій, а здобувач Москаленко Владислав Вікторович, заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.17 – гідравлічні машини та гідропневмоагрегати.

Офіційний опонент

заступник начальника відділу

проточних частин АТ «Сумський завод

«Насосенергомаш»

кандидат технічних наук



П.Л. Ольштинський

Підпис Ольштинського П.Л. засвідчую

Голова правління

АТ «Сумський завод «Насосенергомаш»




О.М. Ковтун