

ВІДГУК

офіційного опонента Рогового Андрія Сергійовича
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.

Існуючі системи водопостачання міст використовують більше 5000 насосів типу Д і більшість з них працює в режимах недовантаження за подачею, внаслідок політики інтенсивного становлення галузі направленої на типовий підхід до проектування насосних станцій в минулому. Це призвело до того, що гідродинамічна вібрація, яка виникає через недовантаження за подачею, негативно впливає на експлуатаційні характеристики насосів, скорочує ресурс роботи основних вузлів. Тому, покращення експлуатаційних характеристик відцентрових насосів типу Д шляхом зниження інтенсивності пульсацій тиску рідини у їх проточній частині є актуальною та відповідає потребам з модернізації існуючих насосних станцій систем водопостачання України.

Модернізація насосів дозволить знизити витрати на обслуговування та ремонт їх основних вузлів, у результаті чого зменшиться загальна вартість життєвого циклу насосних установок.

Актуальність теми роботи підтверджується тим, що вона пов'язана з виконанням держбюджетної теми «Дослідження робочих процесів насосів і приводів» (ДР № 0114U000069) та плану науково-дослідних робіт кафедри прикладної гідроаеромеханіки Сумського державного університету, в яких здобувач був виконавцем окремих етапів.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків, 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 насосах типу Д, виконано з використанням сучасного математичного апарату та сучасних програмних продуктів (Ansys CFX). Отримані результати числового моделювання порівнювалися на основі інтегральних параметрів робочого процесу насоса Д2000-100-2 з результатами фізичного експерименту.

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» та ДСТУ ISO 10816-3:2014 «Вібрація. Контролювання стану машин за результатами вимірювання вібрації на необертюваних частинах».

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 проведено порівняння величини впливу конструкційних параметрів проточної частини відцентрового насоса спірального типу та його основних робочих параметрів на середньоквадратичні значення (СКЗ) амплітуди пульсацій тиску рідини на виході з робочого колеса;

– вперше отримано математичні залежності відносної зміни СКЗ амплітуди пульсацій тиску в залежності від величини відносної зміни конструкційних та/або робочих параметрів відцентрового насоса спірального типу;

– 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 області недовантаження за подачею.

Значимість отриманих результатів для науки і практичного використання.

Автором визначений взаємозв'язок між СКЗ віброшвидкості корпусу підшипника на лопатевій частоті насоса типу Д та СКЗ амплітуди лопатевих пульсацій тиску на його виході, що дозволяє на етапі розробки та/або модернізації насосів типу Д передбачити інтенсивність лопатевої вібрації їх основних вузлів. Сформовано перелік ефективних способів зменшення амплітуди пульсацій тиску на виході з робочого колеса відцентрового насоса спірального типу, що дозволяють розширити робочий діапазон насосів типу Д за подачею. Сформовано рекомендації щодо оцінки доцільності проведення модернізації робочого колеса існуючих насосів типу Д.

Основні результати дослідження були впроваджені при проектуванні і модернізації насосів, що виробляє ТОВ «Сумський машинобудівний завод» та в навчальний процес СумДУ в курсах «Розрахунок та проектування насосів», «Гідравлічні машини, гідроприводи та гідропневмоавтоматика» та «Теорія турбомашин» для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка» освітньої програми «Гідравлічні машини, гідроприводи та гідропневмоавтоматика» освітнього рівня бакалавр та магістр.

У дисертації отримано нові науково обґрунтовані результати, що вирішують науково-практичну задачу – покращення експлуатаційних характеристик відцентрових насосів типу Д шляхом зниження інтенсивності пульсацій тиску рідини у їх проточній частині.

Повнота викладення результатів досліджень в опублікованих працях.

Основні положення та результати дисертаційної роботи достатньо повно опубліковані в 9 наукових працях, у тому числі в 2 статтях у наукових фахових

виданнях України, 2 наукових статтях у закордонних наукових виданнях (2 статті у виданнях, що входять до наукометричної бази Scopus). 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 зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовано її мету та задачі, визначено об'єкт, предмет та методи дослідження, наукову новизну та практичну цінність роботи.

У першому розділі наведено огляд науково-технічних джерел щодо умов виникнення вібрації у насосах та проблем пов'язаних з нею, видів та причин гідродинамічної вібрації відцентрових насосів.

Зазначено, що внаслідок технічної політики застосування типового підходу до проектування насосних станцій, що передбачав мінімізацію капітальних витрат при їх будівництві, насоси систем водопостачання більшість часу своєї роботи експлуатуються на нерозрахункових режимах та здебільшого в зоні недовантаження за подачею. Експлуатація насосного агрегату в зоні недовантаження супроводжується рядом негативних факторів, особливе місце серед яких займає надмірна гідродинамічна вібрація насоса.

На основі проведеного літературного огляду визначено необхідність подальших досліджень щодо:

- уточнення взаємозв'язку між інтенсивністю гідродинамічної вібрації основних вузлів насоса типу Д та інтенсивністю пульсацій тиску рідини у його проточній частині;

- уточнення залежності інтенсивності пульсацій тиску рідини у проточній частині насоса типу Д від режиму його роботи за подачею;

- визначення впливу конструкційних та/або робочих параметрів насоса типу Д на амплітуду пульсацій тиску.

Вирішення цих питань є необхідною умовою для покращення експлуатаційних характеристик насосів типу Д.

У другому розділі наведено результати експериментальних та числових досліджень параметрів робочого процесу насоса Д2000-100-2, як типового представника насосів типу Д та класу відцентрових насосів спірального типу, що широко використовуються у системах водопостачання України.

Експериментальне дослідження інтегральних параметрів робочого процесу насоса та вібраційного стану його корпусу підшипника проведено на насосній станції оборотного водопостачання цеху з виробництва сірчаної кислоти №4 підприємства ВАТ «Сумхімпром».

За результатами проведених експериментальних досліджень отримано Q-N, Q-N, Q-η та Q-ΔP характеристики насоса Д2000-100-2 в діапазоні його подач $0,3Q_{opt} \dots 1,2Q_{opt}$. Також, визначено вібраційну характеристику корпусу підшипника насоса та встановлено, що відхилення режиму його роботи в область недовантаження за подачею ($0,3Q_{opt} \dots 0,6Q_{opt}$) призводить до перевищення встановленого ISO 10816:3-2014 граничного СКЗ віброшвидкості корпусу підшипника.

Поставлені задачі математичного моделювання вирішувалися числовим моделюванням робочого процесу насоса з використанням ПП ANSYS CFX на основі осереднених рівнянь Рейнольдса, рівняння нерозривності та рівнянь « $k-\varepsilon$ » моделі турбулентності. Викликає сумніви використання математичного датчика (рис. 2.12) у зоні інтерфейсу або близько до нього внаслідок осереднення течії за простором, що здійснює Ansys CFX, особливо якщо є неспівпадіння вузлів сітки в інтерфейсі, про що автор не надав інформації.

В розділі автор навів методику розрахунку відносних похибок вимірювань та вказав, що похибки експерименту не перевищували граничних похибок згідно ДСТУ 6134:2009, але не вказав, які саме відносні розбіжності було отримано. Доцільно було б вказати також довірчу ймовірність, довірчі інтервали та навести значення розбіжностей, та значення похибок приладів.

На рис. 2.14 наведено порівняння результату експерименту та розрахунку характеристики насосу, але не зрозуміло чому саме при практичному співпадінню напірних характеристик має місце розходження значень ККД майже на 10% в зоні недовантаження за подачею.

У **третьому розділі** наведено результати числового дослідження інтенсивності пульсацій тиску у проточній частині відцентрового насоса Д2000-100-2 в залежності від подачі та встановлено вплив основних конструкційних та робочих параметрів відцентрового насоса спірального типу на амплітуду пульсацій тиску на виході з робочого колеса.

За результатами даного дослідження отримано математичні залежності величини відносної зміни СКЗ амплітуди пульсацій тиску та відносної зміни величини напору в залежності від величини відносної зміни таких конструкційних або робочих параметрів насоса як-от: кількість лопатей робочого колеса (z_1), ширина лопаті на виході (b_2), відношення початкового діаметру спірального відводу до зовнішнього діаметру робочого колеса (D_3/D_2), кут нахилу вихідної кромки (φ), частота обертання ротора (n) та взаємне розташування лопатей половин робочого колеса (крок зсуву - ψ).

Судячи по лініям струму течії на виході з розрахункової області доцільно було б перетин вихідного трубопроводу, розташований на відстані двох діаметрів від вихідного патрубку насосу зробити дещо далі для вирівнювання ліній струму.

Третій розділ доцільно було б закінчити характеристиками створеного оптимізованого насосу та довести покращення експлуатаційних характеристик відцентрових насосів типу Д шляхом зниження інтенсивності пульсацій тиску рідини у їх проточній частині.

У **четвертому розділі**, за результатами факторного експерименту, сформовано рекомендації щодо корегування основних геометричних параметрів робочого колеса зі зсувом лопатей для існуючих насосів типу Д та доповнено методику оцінки доцільності проведення модернізації існуючих насосів.

При проведенні факторного експерименту розглянуто конструктивну схему робочого колеса двохстороннього входу зі взаємним зсувом лопатей на 1/2 кроку один відносно одного. В якості факторів корегування визначено кількість лопатей робочого колеса (z_1) та відношення початкового діаметру спірального відводу до зовнішнього діаметру робочого колеса (D_3/D_2).

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

Список використаних джерел доцільно було б збільшити та використати більше сучасних закордонних публікацій. Загальна кількість використаних джерел – 77 найменувань.

Зміст автореферату відображає основний зміст дисертації та достатньо повно розкриває внесок здобувача в наукові результати та практичну цінність роботи. Дисертаційна робота за обсягом і структурою відповідає установленим вимогам МОН України.

По дисертаційній роботі можна зробити наступні зауваження:

1. Не зрозуміло які саме значення ККД насосу порівнювалися під час оцінки адекватності математичного моделювання враховуючі, що механічний та об'ємний ККД в числовому моделюванні не визначалися.

2. Не наведено інформації щодо декількох важливих параметрів числового моделювання: число Куранта-Фрідрікса-Леві та його вплив на точність вирішення, значення параметрів примежового шару y^+ для окремих елементів моделі. Неспівпадіння величини призматичного примежового шару різних блоків сіток в зоні інтерфейсу може приводити до помилок під час осереднення в інтерфейсі та передачі інформації до наступного блоку.

3. Доцільно було б створити зразок насосу після реалізації заходів щодо зменшення амплітуди пульсацій тиску та оцінити економічний ефект на конкретному прикладі використання насосу типу Д.

4. В дисертації вказано, що граничні відносні похибки вимірювань на кожному об'єкті не перевищували допустимі граничні похибки згідно ДСТУ 6134:2009 для експлуатаційних випробувань, але не наведено які саме були відносні похибки. Їх доцільно було б навести на графіках порівняння результатів числових та експериментальних досліджень.

5. На рис. 3.3, 3.5, 3.7, 3.9, 3.11, 3.13, 3.15, 3.17 та 3.19 наведено розподіли швидкості у насосі за різних заходів зменшення амплітуди пульсацій тиску, мабуть, для покращення розуміння виникнення відривів та рециркуляції. Але, відомо, що модель турбулентності « $k - \varepsilon$ » досить складно моделює такі зони, тому доцільно було б провести аналіз використання ще й інших моделей турбулентності. Також під час вибору моделі турбулентності є потреба в порівнянні не тільки інтегральних параметрів, а й розподілів тисків або швидкостей. Це дозволило б з більшою достовірністю аналізувати наявність та розмір рециркуляційних зон.

6. По дисертації та автореферату є зауваження редакційного характеру. В першому розділі є декілька друкарських помилок (стор. 22, 29, 33). У рівнянні нерозривності автореферату (5) та дисертації (2.12) присутні помилки шрифту, й замість літери «ро» (густина) можна бачити «р» (тиск).

Зазначені 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 покращенні експлуатаційних характеристик відцентрових насосів типу Д шляхом зниження інтенсивності пульсацій тиску рідини у їх 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
професор кафедри теоретичної
механіки та гідравліки
Харківського національного
автомобільно-дорожнього університету
доктор технічних наук, доцент

APuf

А.С. Роговий

