

ВІДГУК

офіційного опонента Рогового Андрія Сергійовича
на дисертаційну роботу Молошного Олександра Миколайовича
**«Вплив конструкції підвідного пристрою герметичного моноблочного
насоса з порожнистим валом на його робочий процес та характеристики»**
представлену на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук
за спеціальністю 05.05.17 – гідравлічні машини та гідропневмоагрегати

Актуальність теми.

В багатьох технологічних схемах різних галузей виробництва одним із основних елементів гідравлічних систем є відцентрові насоси. Можливість зниження енергетичних та матеріальних витрат, покращення показників надійності є найважливішими проблемами промисловості тому, що витрати перекачування в деяких галузях складають більше половини загальних витрат виробництва. Особливо гостро це питання стоїть у хімічній та ядерній промисловостях, де приходиться перекачувати радіоактивні, токсичні, агресивні, вибухо- та пожежонебезпечні та дорогі рідини, тому що вихід з ладу елементів насосу може приводити до протікання рідин до навколишнього середовища, що у більшості випадків є неприпустимим. Тому, створення насосів для цих галузей призвело до стрімкого зростання удосконалень конструкцій герметичних насосів. Але, на сьогоднішній день, не вдалося вирішити усі проблеми, й досі конструкціям герметичних насосів притаманні деякі недоліки: невисокий ККД та висока вартість насоса. Тому, визначення впливу конструкції підвідного пристрою герметичного моноблочного насоса з порожнистим валом на його робочий процес та характеристики є актуальним завданням, розв'язання якого дозволить підвищити ефективність роботи герметичних насосів.

Актуальність теми роботи підтверджується тим, що вона пов'язана з виконанням держбюджетних тем «Дослідження робочих процесів насосів і приводів» (ДР № 0114U000069), «Розробка автоматизованої системи моніторингу та короткострокового прогнозування теплоспоживання для ефективного управління енергоспоживанням об'єктів МОН України» (№ ДР 0115U000664с), 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 Молошного О.М. 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 герметичних відцентрових насосах, виконано з використанням сучасного математичного апарату. Отримані результати перевірені шляхом порівняння деяких числових та фізичних експериментів, та шляхом візуального порівняння розрахункових картин наявності кавітації з відомими раніше експериментальними картинами, що підтверджує обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій.

Достовірність результатів досліджень.

Достовірність результатів дисертаційного дослідження забезпечується коректністю постановок математичних задач, проведенням верифікації моделей течії шляхом зіставлення з експериментальними даними характеристик герметичних насосів, 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 діапазон величин діаметрів осьового підвідного пристрою (ОПП) з точки зору мінімальних гідравлічних втрат в ОПП насоса (n_s в діапазоні 60...70) та електричних втрат в роторних магнітопроводах електродвигуна за умови порожнистого валу;

- вперше досліджено вплив ОПП з обертовими стінками та дифузором перед входом в робоче колесо (РК) на структуру потоку на вході в РК та визначено параметри розподілення швидкостей за різних конструктивних особливостей ОПП;

- вперше визначено вплив обертання ОПП з різною швидкістю на протікання кавітаційних процесів в ОПП і РК та встановлено, що перші прояви кавітації спостерігаються в РК, а зменшення діаметру ОПП призводить до зміни місця виникнення кавітації і напрямку її розповсюдження.

Значимість отриманих результатів для науки і практичного використання.

Автором уточнено рекомендації щодо проектування герметичного моноблочного відцентрового насоса з порожнистим валом з врахуванням основних взаємозалежностей геометричних параметрів елементів його проточної та електричної частини, які враховують взаємозалежність гідравлічних та електромагнітних втрат. Використання зазначених взаємозалежностей при проектуванні дозволяє визначати раціональний діаметр порожнистого валу. Визначено вплив геометричних параметрів ОПП на характеристики насоса, що дозволяє прогнозувати крутизну його напірної характеристики з урахуванням основних геометричних параметрів ОПП. Створено декілька нових конструктивних схем герметичних відцентрових моноблочних насосів та отримано 2 патенти України на корисну модель. Сформульовано рекомендації щодо врахування конструктивних обмежень проточної частини (в тому числі ОПП) при визначенні величини кавітаційного запасу насоса.

У дисертації отримано нові науково обґрунтовані результати, що вирішують науково-практичну задачу – удосконалення конструкції герметичного моноблочного насоса з порожнистим валом на основі результатів наукових досліджень впливу особливостей конструкції підвідного пристрою на

течію та енергетичні процеси в проточній частині насоса і елементах електродвигуна.

Повнота викладення результатів досліджень в опублікованих працях.

Основні положення та результати дисертаційної роботи достатньо повно опубліковані в 20 наукових працях, у тому числі в 4 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 Молошного О.М. складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел, 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 створення герметичних насосів, сфери їх застосування, переваги та недоліки, впливу підвідного пристрою насоса на його робочий процес та особливості структури потоку в обертовому дифузорі.

Зазначено, що ефективність робочого процесу насоса в значній мірі залежить від умов підведення рідини до РК. Підвідний пристрій має відповідати наступним вимогам: рівномірне розподілення швидкості у полі його поперечного перетину в широкому діапазоні подач насоса; мінімальні гідравлічні втрати в потоці, що проходить через підвідний пристрій; необхідні кавітаційні властивості, закручування потоку заданої величини та мінімізація інтенсивності зворотної течії на вході в РК. Аналіз конструкцій підвідних пристроїв виявив, що майже жодна його конструкція не відповідає одночасно всім заявленим вимогам.

За результатами літературного огляду визначено основні вимоги до конструкції герметичного моноблочного насоса з порожнистим валом, що дає змогу забезпечити герметичність моноблочної конструкції за двопоточної схеми насоса.

У другому розділі описано методи проведення аналізу робочого процесу герметичного моноблочного насоса: аналітичний метод дослідження, який базується на складанні диференційних або інтегральних рівнянь, що описують закони фізичних процесів, та на знаходженні їх точних або наближених рішень; числове моделювання, яке застосовано для аналізу параметрів течії рідини та визначення робочих параметрів насоса; фізичний експеримент для визначення робочих параметрів насоса та перевірки результатів числового моделювання.

Під час моделювання автором зроблено висновок про доцільність використання саме « $k-\varepsilon$ » моделі турбулентності, але, загалом кажучи, це може бути так лише під час безвідривного обтікання лопатей, внаслідок використання пристінних функцій. Судячи з усього, автор перевіряв та порівнював декілька точок характеристики близьких до оптимальних подач насосу, та оптимального обтікання профілю, тому цей висновок потребує уточнення за якими саме

параметрами відбувається найкращий опис цією моделлю турбулентності. Більшість дослідників стверджують, що SST-модель, або більш сучасні LES та DES методи, дозволяють досягти більш адекватних результатів розрахунку в широкому діапазоні параметрів течії.

У третьому розділі за допомоги аналітичних розрахунків навантаження ротора визначено взаємний вплив ваги, гідродинамічних та магнітних сил. Результати досліджень показують, що величина гідродинамічних та магнітних сил має обернено пропорційну залежність з величиною відносного зазору в підшипниках. В представленій конструкції додатково виникає радіальне навантаження на підшипники, що є результатом проходження потоку рідини між поверхнями статорної перегородки та ротора, що обертається, і, яке прямо пропорційне величині ексцентриситету та обернено пропорційне величині зазору. За результатами розрахунку рекомендовано вибирати якомога менший діаметр ротора електродвигуна для зниження гідродинамічних сил.

Для зменшення електромагнітних втрат в електродвигуні перспективним є використання конструкції моноблочного герметичного насоса з порожнистим валом та трансформаторно-асинхронною системою електродвигуна, що не містить статорної перегородки і, відповідно, втрат в ній.

У четвертому розділі здійснено аналіз течії рідини в герметичному моноблочному насосі з порожнистим валом, що додатково виконує функції підвідного пристрою, конструктивна схема якого є оригінальною, та визначено його робочі параметри. Автором проведено дослідження кавітації у насосі, але не наведено порівняння якої саме математичної моделі з експериментом виконувалося: моделі без кавітації, чи моделі Рейлі-Плесе. Чи однакові результати розрахунку характеристики, чи виконувалося експериментальне дослідження насоса з кавітацією? Для покращення розуміння та порівнювання деяких рисунків треба було їх навести в однаковому масштабі (рис. 4.11, 5.12, 5.13).

У п'ятому розділі автором проведено детальний аналіз впливу геометричних параметрів ОПП на структуру течії в насосі та його робочі характеристики. Автором систематично показано відмінності тієї або іншої схеми ОПП та їх вплив на енергетичні показники. Але, в багатьох випадках, відмінність ККД не перевищує значень $\pm 1\%$, що, мабуть, можна вважати помилкою розрахунку. Такі відмінності складно буде розпізнати за експериментальними дослідженнями, що мають певну помилку експерименту, яка може виявитися більшою, ніж очікувані відмінності у ККД та напорі.

П'ятий розділ доцільно було б закінчити характеристиками створеного оптимізованого насоса та довести покращення енергетичних характеристик на певну кількість відсотків, що дало б змогу оцінити, які саме фактори впливу є вирішальними, а якими можливо нехтувати. Деякі пункти наукової новизни в такому разі були б більш визначальними за рахунок уточнення на що саме вплинула зміна конструкції підвідного пристрою та що кожний з пунктів новизни дозволив отримати з точки зору покращення характеристик герметичного моноблочного насоса.

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 кількістю в 188 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. 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. Особливо, якщо автором аналізуються зони відриву та кавітаційні явища, які за допомогою « $k-\epsilon$ » моделі прогнозувати досить складно внаслідок досить великих помилок розрахунку та недостовірності розрахунку точки відриву.

2. Для оптимізації параметрів осьового підвідного пристрою корисно було б використати методи планування експериментів, що дало б змогу отримати оптимальні геометричні розміри та значно зменшити кількість варіацій досліджуваних ОПП.

3. В різних розділах дисертації автор вказує різні помилки розрахунку: у висновках вони не перевищують 9%, на стор. 135 вказано «різниця напору становить близько 9%», а на стор. 136 вказано, що за розрахунком ККД дорівнює 70%, за експериментом – 55 %, що перевищує заявлені помилки у 9%. Треба було коректніше вказувати інформацію про помилки з наданням величин, для яких вони розраховані. Автор помічає, що досить великі помилки розрахунку ККД пов'язані з неврахуванням об'ємних втрат та шорсткості, але програмний комплекс Ansys CFX дозволяє враховувати шорсткість та можливо було в геометричній моделі передбачити канали, за якими можливе перетікання об'ємних втрат для покращення результатів числового моделювання.

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. Крім того результати доцільно було б навести з довірчими інтервалами та ймовірностями, що дало б змогу краще оцінити їх достовірність.

5. В дисертації відсутні розрахунки економічного ефекту від впровадження та модернізації насосів. Крім того, автором заявлено про розробку методичних рекомендацій щодо проектування герметичних моноблочних насосів, але не наведено даних про використання цих рекомендацій та створення насосу з оптимальними характеристиками, що має більш високий ККД, напір чи інші економічні параметри.

6. По дисертації та автореферату є зауваження редакційного характеру. В першому розділі є декілька друкарських помилок (стор. 25, 28, 36, 40). Невдале використання термінів (від'ємні гідравлічні втрати замість збільшення напору у порівнянні з конструкцією ... на стор.158, оптимальні параметри замість раціональних на стор.170, нестатичні розрахунки замість нестационарних на стор. 177, пульсації тиску замість нерівномірності на стор.176).

Зазначені недоліки не впливають на загальну позитивну оцінку виконаної роботи.

ВИСНОВОК

Дисертаційна робота Молошого Олександра Миколайовича «Вплив конструкції підвідного пристрою герметичного моноблочного насоса з порожнистим валом на його робочий процес та характеристики» 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 підвищенні ефективності роботи герметичного моноблочного насоса з порожнистим валом на основі досліджень впливу особливостей конструкції підвідного пристрою на течію та енергетичні процеси в проточній частині насоса і елементах електродвигуна. Дисертаційна робота відповідає вимогам п.п. 9, 11, 12 “Порядку присудження наукових ступенів”, щодо кандидатських дисертацій, а здобувач Молошний Олександр Миколайович, 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

