

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОДОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Карапузова Марина Володимирівна

УДК 621.65

ГІДРОДИНАМІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ КОНСТРУЮВАННЯ
КОМБІНОВАНОГО ПІДВОДУ ВІДЦЕНТРОВОГО НАСОСА

Спеціальність 05.05.17 – Гідравлічні машини
та гідропневмоагрегати

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Суми – 2012

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Сумському державному університеті
Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України

Науковий керівник –

кандидат технічних наук, професор

Євтушенко Анатолій Олександрович,

СумДУ, завідуючий кафедрою
«Прикладна гідроаеромеханіка»

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор
Сьомін Дмитро Олександрович,
Східноукраїнський національний
університет імені В. Даля, Міністерство
освіти і науки, молоді та спорту
України, професор кафедри
«Гідрогазодинаміки»;

кандидат технічних наук, доцент
Дранковський Віктор Едуардович,
Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
Міністерство освіти і науки, молоді та
спорту України, доцент кафедри
«Гідравлічні машини».

Захист відбудеться 30 листопада 2012 р. о 13⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 55.051.03 у Сумському державному університеті за адресою: 40007, м. Суми, вул. Римського-Корсакова, 2.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Сумського державного університету (м. Суми, вул. Римського-Корсакова, 2).

Автореферат розісланий «30» жовтня 2012 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

Є.М. Савченко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Практично у всіх галузях промисловості знаходиться широке застосування насосне обладнання, вимоги до якого зростають з кожним днем. Поряд з підвищенням надійності та зниженням енергоспоживання сьогодні висуваються вимоги до покращення ремонтпридатності, зниження шумових і вібраційних характеристик устаткування, що експлуатується. Поряд з цим все частіше замовник висуває особливі вимоги до обладнання, що знижує застосування серійних насосів, одночасно скорочуючи терміни поставки обладнання.

Якщо ще в 90-х роках час від надходження заявки на розробку обладнання до його постачання на об'єкт становив до трьох років, то сьогодні цей термін скоротився до шести-восьми місяців. Таким чином, терміни створення насосного обладнання значно зменшилися при одночасному підвищенні до нього вимог, необхідності впровадження останніх досягнень науки і техніки.

Одним із шляхів вирішення даного протиріччя є застосування в насособудуванні принципу блоково-модульного проектування (БМП) відцентрових насосів (ВЦН). Блоково-модульний підхід до конструювання проточної частини (ПЧ) ВЦН є найбільш раціональним, оскільки дає можливість використання готових відпрацьованих елементів (модулів). Одним з найбільш важливих моментів при застосуванні принципу БМП є не тільки розрахунок характеристик і параметрів окремих елементів ПЧ, але і облік впливу структури течії, сформованої на виході з елемента ПЧ, на роботу наступного елемента ПЧ при побудові моделі робочого процесу ВЦН.

Підвідний пристрій (ПП) – це один з основних елементів ПЧ ВЦН, який значною мірою впливає на характеристики ВЦН в цілому, визначає його кавітаційні якості, металоємність, а також масогабаритні характеристики.

Структура потоку, сформована на виході з ПП, має вагомий вплив на всю сукупність експлуатаційних якостей насоса, надійність в роботі і термін служби насоса в цілому. Нерівномірний розподіл швидкостей потоку на вході в робоче колесо (РК) приводить до додаткових втрат в ньому, погіршення кавітаційних якостей, вібраційних і шумових характеристик насоса. Вплив нерівномірності потоку на вході в РК зростає зі збільшенням коефіцієнта швидкохідності (n_s). В даний час, дуже висока потреба у створенні потужних високооборотних енергетичних насосів. При створенні такого класу обладнання одним із завдань, що стоїть перед насособудівниками, є розробка бічного підвода,

який формує малу нерівномірність потоку на виході з нього, причому габарити ПП мають бути співвимірними з усією проточною частиною насоса.

Тема дослідження є актуальною, так як дослідження взаємозв'язку геометричних і гідродинамічних параметрів ПП ВЦН дозволить створити ПП, який формує малу нерівномірність потоку на вході в РК, забезпечити можливість створення заздалегідь заданої необхідної структури потоку на виході з ПП, створити технологічну конструкцію підвода, розвинути практику БМП, а також можливість проведення уніфікації ПП ВЦН.

Зв'язок роботи з науковими програмами. Дисертаційна робота виконувалася згідно з планом науково-дослідних робіт кафедри прикладної гідроаеромеханіки Сумського державного університету відповідно до науково-технічної програми Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України, та реалізована при виконанні держбюджетних науково-дослідних робіт (замовник Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України): «Наукові основи технічного забезпечення енергозберігаючих технологій в гідропневмосистемах» (№ держреєстрації 0103U000769), «Дослідження нетрадиційних шляхів перетворення енергії в рідинах і газах, і створення на їх основі прогресивного обладнання для гідропневмосистем» (№ держреєстрації 0106U001935).

Мета і задачі дослідження. Метою даного дослідження є створення бічного ПП з малою нерівномірністю потоку на виході з нього при забезпеченні найменших габаритів, технологічності виготовлення та забезпечення можливості уніфікації ПП ВЦН.

Для досягнення поставленої мети сформульовані такі задачі:

- проаналізувати взаємозв'язки геометричних і гідродинамічних параметрів підводів ВЦН, провести оцінку їх впливу на характеристики ВЦН в цілому;
- розробити технологічну конструкцію підвода, яка формує на виході з нього потік з малою нерівномірністю потоку, що забезпечує можливість розвитку практики БМП ПЧ ВЦН, а також створює базу для проведення уніфікації підвідних пристроїв ВЦН;
- виконати чисельне дослідження течії на ділянці «вихід з підводу – вхід в РК» з метою визначення впливу гідродинамічних параметрів потоку на характеристики насоса;
- провести фізичний експеримент для перевірки обраної методики дослідження, отримання енергетичної характеристики і визначення впливу на неї моменту швидкості потоку, який формується ПП;
- уточнити критеріальне рівняння та параметри, що визначають якість роботи підводу в складі ВЦН при БМП;

- розробити методика проектування та практичні рекомендації щодо застосування комбінованих підводів (КП) у відцентрових насосах.

Об'єкт дослідження – робочий процес підвідного пристрою відцентрового насоса.

Предмет дослідження – структура течії між ПП і РК, критерії оцінювання ПП і функціональний зв'язок між ними, вплив гідродинамічних і геометричних параметрів підводу на характеристики ВЦН.

Методи дослідження. При вирішенні поставлених задач обрані такі методи дослідження як аналітичний метод, чисельне дослідження і фізичний експеримент.

Аналітичний метод дозволив виділити гідродинамічні параметри підводу, які надають найбільш вагомий вплив на характеристики насоса в цілому. Для перевірки адекватності та обґрунтування отриманих результатів з використанням перших двох методів проводиться фізичний експеримент, з отриманням інтегральних характеристик досліджуваного насоса, експериментальне підтвердження методики проектування комбінованих підводів.

Чисельне моделювання течії в підвідному пристрої проводилося за допомогою програмного продукту ANSYS CFX 11.0 для турбомашинобудування з використанням ліцензії ТОВ «Керуюча компанія «Гідравлічні машини і системи».

Фізичний експеримент був проведений на експериментальному гідравлічному стенді АТ «Сумський завод «Насосенергомаш» на натурному насосі ДНм 2500-230.

Наукова новизна отриманих результатів:

- проведено аналіз структури течії за ПП, в результаті якого вперше визначено що для кожного співвідношення геометричних параметрів робочого колеса існує своє значення моменту швидкості потоку, створеного боковим підводом, при якому створюється найбільш рівномірна структура потоку на вході в робоче колесо, що забезпечує протікання робочого процесу ВЦН з оптимальним ККД;
- вперше експериментально досліджено структуру потоку на вході в робоче колесо, яка створена комбінованим підводом з використанням різної змінної частини – лопатевого направляючого апарату, при незмінній базовій корпусній деталі, що дозволяє застосовувати комбінований підвід при змінних проточних частинах в базовому корпусі, створюючи при цьому необхідну структуру потоку на вході в робоче колесо;
- вперше проведено аналіз бічного підвідного пристрою відцентрового насоса з урахуванням гідродинамічних параметрів потоку на виході з

нього на стадії компонування ПЧ ВЦН з окремих елементів, що дозволяє змоделювати робочий процес ВЦН з урахуванням впливу умов, створених одним елементом – ПП на робочий процес іншого елемента – РК;

- вперше отримана аналітична залежність, яка описує взаємозв'язок між критеріями робочого процесу ВЦН з урахуванням параметрів тривимірного потоку, яка дозволяє більш точно визначити параметри ПП ВЦН під час його проектування.

Практичне значення отриманих результатів:

- надано додаткове обґрунтування доцільності і можливості переходу до блоково-модульного конструювання і виготовлення ВЦН;
- розроблено конструкцію підводного пристрою ВЦН, яка забезпечує задану структуру потоку на вході в робоче колесо (при багатоступеневій конструкції насоса – на вході в колесо першого ступеня) з одночасним підвищенням технологічності виготовлення корпусів ВЦН;
- вперше розроблена методика проектування комбінованих підводів ВЦН;
- створено комбінований підвід, який відкриває можливість уніфікації ПП ВЦН;
- сформовано новий підхід до дослідження і розробки підводів ВЦН, який запропонований увазі фахівців у галузі дослідження і виробництва ВЦН, а також впроваджено у навчальний процес вищого навчального закладу.

Особистий внесок здобувача. У написаних у співавторстві наукових публікаціях, що розкривають основні результати, отримані в процесі виконання дисертаційної роботи, здобувачу належать: [1] – дослідження структури потоку в підводах та аналіз результатів, [2] – формування напрямків уніфікації вхідних кришок відцентрових багатоступінчастих насосів, [3] – впровадження чисельного дослідження в процес проектування проточних частин відцентрового насоса та аналіз результатів, [4] – аналіз впливу структури течії між основними елементами проточної частини на характеристики відцентрового насоса, [6] – аналіз впливу структури течії за підводом на вході в робоче колесо на характеристики відцентрового насоса та аналіз результатів, [7] – розробка конструкції комбінованого підводу, [8] – чисельне дослідження структури потоку, що формується підводом та аналіз результатів, [9] – дослідження комбінованого підводу, аналіз результатів та формулювання висновків, [10] – дослідження комбінованого підводу, позначений перспективний шлях вдосконалення відцентрових насосів.

В роботі [5], яка написана автором самостійно, обґрунтовано

актуальність і намічені шляхи подальших досліджень підвідних пристроїв відцентрових насосів.

Апробація роботи. Основні положення дисертації доповідалися й обговорювалися на:

- міжнародній науково-практичній конференції «Гідроаеромеханіка в інженерній практиці» (м. Київ, 2010 р.);
- 6-й Міжнародній науково-технічній конференції «Гідравлічні машини, гідроприводи і гідропневмоавтоматика. Сучасний стан та перспективи розвитку» (м. Санкт-Петербург, 2010);
- XIII-й Міжнародній науково-технічній конференції «Герметичність, вібронадійність і екологічна безпека насосного і компресорного обладнання» (м. Суми, 2011 р.);
- науково-технічних конференціях викладачів, співробітників, аспірантів та студентів СумДУ (щорічно з 2006 р. до 2011 р. включно).
- у повному обсязі дисертаційна робота доповідалася на пленарному засіданні XVI Міжнародної науково-технічної конференції «Гідроаеромеханіка в інженерній практиці» (м. Вінниця, 2011 р.).

Публікації. За матеріалами дисертації опубліковано 10 наукових робіт, із них: 1 монографія (у співавторстві), 3 публікації у фахових виданнях, 1 стаття у збірнику наукових праць, 1 патент на корисну модель, а також тези 3-х доповідей на науково-технічних конференціях.

Структура й обсяг дисертаційної роботи. Робота складається із вступу, 4 розділів, висновків, додатків і списку використаних джерел. Повний обсяг дисертації – 145 сторінок, у тому числі 56 рисунків, із яких 15 на окремих аркушах, 5 таблиць, бібліографія із 106 джерел на 13 сторінках, 4 додатки на 7 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність проведення дослідження, спрямованого на створення технологічної конструкції бокового підводу відцентрового насоса, який формує на виході з нього потік з малою нерівномірністю, забезпечує можливість розвитку практики БМП ПЧ відцентрових насосів, а також створює базу для проведення уніфікації ПП ВЦН. Сформульовані мета і задачі дослідження, наводиться загальна характеристика роботи.

У першому розділі викладені результати інформаційно-аналітичного огляду сучасного стану проблеми, пов'язаної з дослідженням бокового підводу, розглянуті гідродинамічні характеристики підводу, які впливають на характеристики відцентрового

насоса.

Конструкція підвода забезпечує створення тієї чи іншої структури потоку перед входом в робоче колесо. А саме ця структура потоку, створена підводом, значно впливає на ККД і характеристики насоса в цілому.

Переважає більшість ВЦН - це насоси двоопорні, з прохідним валом відносно корпусу насоса. Підведення рідини до робочого колеса в цьому випадку відбувається збоку, під прямим кутом до осі вала.

Поворот потоку з радіального напрямку в осьовий і обтікання прохідного вала супроводжується не тільки збільшенням гідравлічних втрат у порівнянні з осьовим підводом, а й нерівномірністю розподілу швидкостей перед РК. Це призводить до збільшення нестационарності течії в каналах РК, існує небезпека відриву потоку при обтіканні вхідних кромek лопатей РК. Чим більше коефіцієнт швидкохідності, тим значніше вплив зазначених чинників на економічність насоса в цілому.

Підвід впливає на характеристики насоса як через власні втрати (при течії рідини в підводі є втрати напору), так і надаючи вплив на ефективність роботи РК, встановленого за ним. Тому, при оцінці характеристик підводу розглядаються величини, що характеризують втрати в підводі, а також поле швидкостей на виході з нього. Наряду з основною характеристикою підводу коефіцієнтом опору ζ_0 важливе значення мають характеристики потоку, сформованого підводом. Це насамперед середній момент швидкості течії і розподіл швидкостей на вході в РК. Всі вищенаведені показники підводу мають вагомий вплив на всю сукупність експлуатаційних якостей насоса – енергетичні та кавітаційні, вібраційні та шумові характеристики, надійність в роботі і термін служби насоса в цілому.

Окремий підрозділ присвячено сучасним методам дослідження робочих процесів, що відбуваються в проточній частині насоса.

Використання чисельного дослідження замість фізичного експерименту дозволяє досить якісно вирішувати задачі насособудування з мінімальними витратами часу і фінансів.

Загальний випадок руху рідини описується рівняннями Нав'є - Стокса, проте їх рішення було можливе лише з істотними допущеннями і спрощеннями.

Розрахунок течії в проточній частині насоса виконується шляхом чисельного рішення системи рівнянь, що описують найбільш загальний випадок руху рідкого середовища (рівнянь Нав'є-Стокса) і рівняння нерозривності. Течія в обертових робочих органах розглядається у відносній системі координат. Для отримання рівнянь турбулентної течії використовують рівняння Нав'є-Стокса, в яких усереднюють за часом всі

доданки. Таким чином, для усередненої усталеної турбулентної течії, якою, як правило, є течія в ПЧ ВЦН) разом з рівнянням нерозривності використовуємо рівняння Рейнольдса.

Проведений аналіз сучасних методів дослідження показав, що для вирішення задач проектування в насособудуванні можна з достатньою достовірністю застосувати програмний продукт ANSYS CFX з використанням стандартної $k-\epsilon$ моделі турбулентності.

У другому розділі формулюються мета дослідження і задачі, які вирішувалися для її досягнення. Описані методи і засоби проведення дослідження.

В якості об'єкта дослідження обраний робочий процес у ПП відцентрового горизонтального одноступінчатого насоса з робочим колесом двостороннього входу, який наведено на рисунку 1.

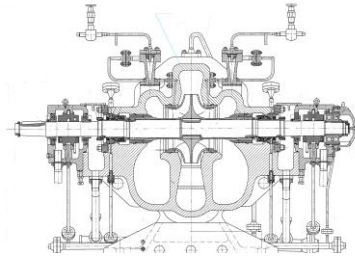


Рисунок 1 – Досліджуваний насос

В результаті проведеного аналізу існуючих на сьогоднішній день методів дослідження ПП обрані такі методи дослідження як аналітичний метод, чисельне дослідження і фізичний експеримент.

Оскільки всі бічні підводи характеризуються різною мірою нерівномірності потоку на виході, а неоднорідність течії на вході в робоче колесо ВЦН впливає на протікання робочого процесу і характеристики насоса в цілому, то перед нами стоїть завдання розробити технологічну конструкцію підводу, що формує на виході з нього течію з малою нерівномірністю розподілу поля швидкостей. Необхідно дослідити які гідродинамічні параметри ПП, якою мірою і як впливають на структуру потоку, що створюється ім. У плані розвитку БМП при виділенні підводу в окремий модуль, необхідно спрогнозувати одержувану структуру потоку на виході з ПП, і вона повинна бути такою, щоб забезпечити найбільш ефективне протікання робочого процесу в робочому колесі ВЦН.

У третьому розділі наведена конструкція комбінованого підводу відцентрового насоса, описані методики проведення чисельного дослідження та фізичного експерименту, а також наведені отримані

результати.

Розроблено конструкцію КП, на яку отримано декларативний патент України на корисну модель. КП складається з кільцевої камери і лопатевого направляючого апарату (ЛНА). Схема та вигляд КП наведені на рисунках 2 та 3.

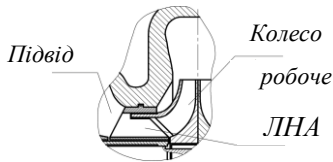


Рисунок 2 – Схема комбінованого підводу



Рисунок 3 – Вигляд комбінованого підводу

Чисельне дослідження проводилося для двадцяти п'яти підводів. Оскільки дослідження проводилось для насоса типу Д, то було зроблено припущення, що потік в проточній частині досліджуваного насоса є симетричним щодо поперечної осі. Таким чином розрахункова область складалася з половинки бокового підводу, половинки робочого колеса, лопатевого направляючого апарату і половинки спірального відводу.

Варіації підвідного пристрою досягалися шляхом комбінації типу самого підводу (кільцевого (КОП) чи напівспірального (ПСП)), та зміною конструкції ЛНА (змінювалася кількість лопаток, закрутка потоку, як по величині, так і за напрямком). При чисельному дослідженні було зроблено припущення про відсутність впливу пазух і ущільнень РК на структуру течії на ділянці «вихід з підводу – вхід в РК».

Розрахунок течії проводився в стаціонарній постановці. Робоча рідина була прийнята нестисливою, режим течії – турбулентний. Для замкнення системи рівнянь Рейнольдса використовувалась стандартна $k-\epsilon$ модель турбулентності. У якості граничних умов були задані: на вході – масова витрата, на виході – статичний тиск, на всіх твердих поверхнях – умова дорівнювання швидкості нулю (умова прилипання). Були визначені області інтерфейсу на кордоні взаємодії роторних і статорних елементів. Тип інтерфейсу був вказаний як «stage», що передбачало осереднення параметрів потоку за часом.

В ході чисельного дослідження вивчався вплив моменту швидкості потоку на вході в робоче колесо на характеристики насоса. Результати деяких з них наведені в таблиці 1 та на рисунках 4-5.

З наведених результатів видно, що комбінований підвід створює більш рівномірну структуру потоку на вході в робоче колесо в порівнянні з напівспіральним і кільцевим підводами.

Таблиця 1 – Параметри і інтегральні характеристики досліджуваних варіантів підводів

№ підводу	Вид підводу	Кількість лопатей ЛНА	Напрямок закрутки потоку на вході в РК	Інтегральні характеристики, за результатами чисельного дослідження				
				Напір насоса, м	Втрати в підводі (сумарні), м	Коеф. нерівномірності потоку на вході в РК	Коеф. моменту швидкості і потоку на вході в РК	ККД насоса, %
1	ПСП	–	Додатний	247	0,615	1,341	0,212	87,1
3	КП (ПСП+ЛНА з прямими лопат.)	6	Додатний	249	9,23	1,317	0,137	87,3
10	КП (ПСП+ЛНА)	6	Додатний	240	8,03	1,237	0,481	87,6
11	КП (ПСП+ЛНА)	6	від'ємний	250	13,09	1,286	-0,043	84,8
12	КОП	–	Додатний	252	0,612	1,383	0,081	85,7
19	КП (КОП+ЛНА)	6	Додатний	232	11,09	1,260	0,670	86,0
21	КП (КОП+ЛНА)	6	Додатний	240	8,48	1,235	0,462	87,7
23	КП (КОП+ЛНА) підрізка 5 мм	6	Додатний	244	8,36	1,244	0,432	87,0
24	КП (КОП+ЛНА) підрізка 10 мм	6	Додатний	248	8,33	1,251	0,397	86,9

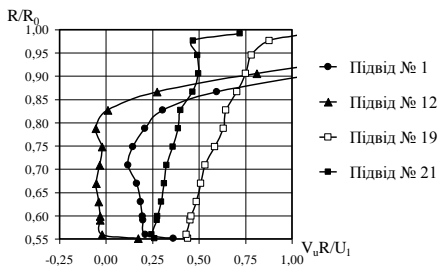


Рисунок 4 – Епюри моменту швидкості на вході в робоче колесо

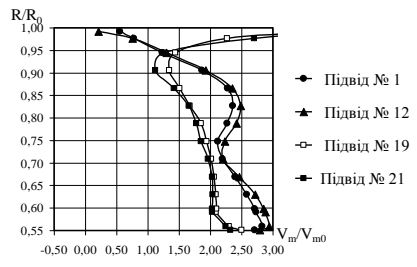


Рисунок 5 – Епюри витратної складової швидкості на вході в робоче колесо

Методика проведення випробувань відповідала ГОСТ 6134-2007 «Насосы динамические. Методы испытаний». Конструкція стенду дозволяла отримати інтегральні напірні, енергетичні і вібраційні характеристики досліджуваного насоса. Проведений розрахунок похибок результатів тестування свідчить, що контрольно-вимірювальні прилади і методика тестування забезпечували необхідну точність проведення фізичного експерименту.

Для проведення фізичного експерименту було виготовлено дві пари лопатевого направляючого апарату: з прямими лопатками (рис.6) та з профільованими лопатками (рис. 7).

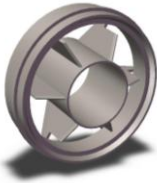


Рисунок 6 – Лопатевий направляючий апарат з прямими лопатками



Рисунок 7 – Лопатевий направляючий апарат з профільованими лопатками

За результатами фізичного експерименту отримані інтегральні характеристики насоса з різними варіантами підвода. Характеристики наведені на рисунку 8.

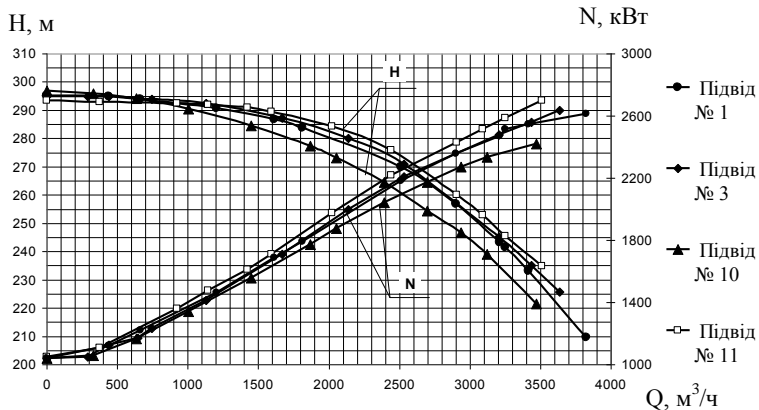


Рисунок 8 – Напірні та енергетичні характеристики експериментального насоса з різними варіантами підвода

Як видно з наведених характеристик момент швидкості та структура течії на вході в робоче колесо значно впливають на характеристики насоса.

Експериментально встановлено, що при збільшенні зазору між кромками лопаток ЛНА і лопатями РК на 5 мм, напір насоса змінився на 2%. Це властивість можна застосувати при доведенні параметрів насоса, як, наприклад, застосовується підрізка колеса або затилровка лопатей РК для зміни величини напору насоса. Таким чином з'являється додатковий механізм коригування параметрів насоса.

Також експериментально підтверджено, що при введенні позитивної закрутки течії на вході в РК, а, отже, при більш рівномірній структурі течії на вході в РК зменшується вібрація насоса (рис. 9).

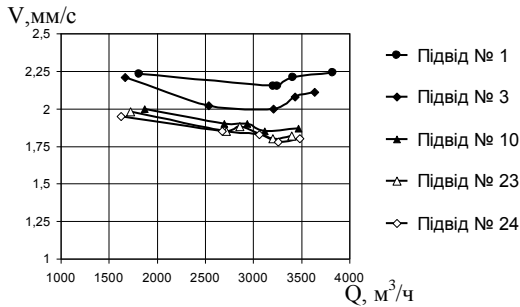


Рисунок 9 – Вібраційні характеристики на передньому підшипнику насоса з різними варіантами підвода

У четвертому розділі наведені математична модель розрахунку течії в підвідному пристрої, уточнене критеріальне рівняння для підводів, а також методика розрахунку комбінованого підвода.

Розглянемо задачу виділення ПП відцентрового насоса в окремий модуль. Підвід насоса можна розглядати як гідравлічний опір. Однією зі складових втрат напору є гідравлічні втрати на тертя. Ці втрати можуть бути визначені при відомій геометрії підвода. Величина гідравлічних втрат дуже мала. Аналогічно втратам на тертя в підводі можна знехтувати втратами, які є внаслідок дисипації механічної енергії при течії в'язкої рідини (процес переходу механічної енергії рідини в теплову).

З урахуванням вище зазначеного, до насосів можна застосувати модель, засновану на інтегралі Бернуллі. Таким чином, завдання розрахунку підводу зводиться до визначення його геометрії, яка при

відомій структурі потоку у вхідному перерізі забезпечить формування необхідної структури потоку в його вихідному перерізі. Така постановка питання потребує вирішення просторової задачі.

В разі нехтування дією масових сил, статичний тиск по перетину також розподілено рівномірно $p(\varphi, r) = const$. Для розглянутої задачі застосування даного підходу є надміру спрощеним, і призводить до значних похибок при розрахунку. Більш правомірним є завдання функції розподілу $V_m(r)$ у вигляді відомого логарифмічного профілю швидкостей: $V_m(\varphi) = const$; $V = V_m$ та $p(\varphi, r) = const$. В цьому випадку $E(\varphi) = const$, а $E(r)$ відстежує розподіл $V_m(r)$. Нерівномірність розподілу повної енергії потоку по радіусу усувається умовою існування обертального руху частинок рідини з нерівномірною кутовою швидкістю вздовж радіуса. У цьому випадку буде розглядатися задача розрахунку просторової вихрової течії рідини в підводі.

Досить складним є питання визначення структури потоку у вихідному перетині підвода. Створення задалегідь визначеної структури потоку, сформованої ПП, і є основною метою визначення проектних завдань і розрахунку підвода.

С.С. Руднев ввів коефіцієнт нерівномірності швидкості потоку за деякою координатою x , який має вигляд:

$$S_x = \sqrt{\Delta \overline{V_x^2} \cdot \overline{V_x^{-1}}}, \quad (1)$$

де $\overline{V_x}$ - усереднена величина швидкості по даній координаті,

$$\Delta \overline{V_x} = \overline{V_x} - V_x, \quad (2)$$

V_x - дійсна величина швидкості,

$\Delta \overline{V_x^2}$ - середньоквадратична величина нерівномірності швидкості по даній координаті.

Коефіцієнт нерівномірності складових абсолютної швидкості можна записати у вигляді:

$$\left. \begin{aligned} S_m &= \sqrt{\Delta \overline{V_{mcp}^2} \cdot \overline{V_m^{-1}}}, \\ S_u &= \sqrt{\Delta \overline{V_u^2} \cdot \overline{V_{ucp}^{-1}}}, \\ S_R &= \sqrt{\Delta \overline{V_R^2} \cdot \overline{V_{Rcp}^{-1}}} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

і абсолютної швидкості в цілому

$$S = \sqrt{\Delta \overline{V^2} \cdot \overline{V_{cp}^{-1}}} \quad (4)$$

Тоді можна записати

$$V_{cp} = \sqrt{V_{mcp}^2 + V_{ucp}^2 + V_{Rcp}^2}, \quad (5)$$

$$S' = \sqrt{S_m^2 V_{mcp}^2 + S_u^2 V_{ucp}^2 + S_R^2 V_{Rcp}^2} \cdot V_{cp}^{-1} \quad (6)$$

Встановленим фактом є формування на виході з підводу епюри розподілу $V_m(r)$ у вигляді логарифмічного профілю швидкостей. Принципово важливим моментом в даному випадку є збереження даної функції розподілу $V_m(r)$ як для незакрученої, так і для закрученої течії (з різною величиною m) у вихідному перерізі підводів.

З урахуванням сказаного внесемо наступне уточнення:

$$S_{mr}^i = \sqrt{\Delta V_{mr}^2} \cdot V_{mcp}^{-1} \quad (7)$$

$$\text{при цьому } \Delta V_m = V_{mлог} - V_m \quad (8)$$

де $V_{mлог}$ – швидкість визначена за логарифмічним законом $V_m(r)$,

V_m – дійсна швидкість на тому ж радіусі.

Критеріальне рівняння в припущенні відсутності радіальних складових абсолютної швидкості записано у вигляді виразу для динамічного напору у вихідному перерізі підвода:

$$H_{дин} = \frac{V_{mcp}^2}{2g} (1 + \phi^2 \cdot m^2) (1 + S^2), \quad (9)$$

де

$$\phi = \pi(1 + \bar{d}) \quad (10)$$

З урахуванням радіальних складових абсолютної швидкості вираз (9) може бути записано у вигляді:

$$H_{дин} = \frac{V_{mcp}^2}{2g} \cdot (1 + \phi^2 \cdot m^2) + (S') \cdot \frac{V_{mcp}^2}{2g} (1 + \phi^2 \cdot m^2) + \frac{V_{Rcp}^2}{2g} \quad (11)$$

Введемо позначення:

$$k_R = \frac{V_{Rcp}^2}{V_{mcp}^2 (1 + \phi^2 \cdot m^2)} \quad (12)$$

Перепишемо отриманий вираз у вигляді:

$$H_{дин} = \frac{V_{mcp}^2}{2g} \cdot (1 + \phi^2 \cdot m^2) + ((S')^2 + k_R) \cdot \frac{V_{mcp}^2}{2g} \cdot (1 + \phi^2 \cdot m^2) \quad (13)$$

У правій частині цього виразу перший член визначає собою кінетичну енергію потоку за підводом, яка корисно використана в насосі, другий – втрати.

Проектування КП розділимо на два етапи:

- проектування кільцевої камери;
- розрахунок і проектування ЛНА.

Першу частину нашого проектування проводимо за відомими в насособудуванні та апробованими методиками. У нашій роботі зупинимося на розрахунку і проектуванні ЛНА.

При проектуванні ЛНА вихідними даними будемо вважати задане РК, тобто відомими величинами є d_{em} та D_0 , а також Q та n .

Визначаємо реальні складові абсолютної швидкості V_{m1} та V_{u1} та оптимальний момент швидкості потоку на вході в робоче колесо, для якого проводиться розрахунок ПП. Якщо не дотримуватися виконання цієї умови, то розрахунок дасть значні похибки у визначенні геометрії та установки лопатей ЛНА. Це обумовлено тим, що умови $V_m(R)=const$ та $(V_{uR})_l=const$ не дотримуються як у випадку $m_l=0$, так і у випадку $m_l \neq 0$.

Розглянемо трикутник швидкостей (рис.10).

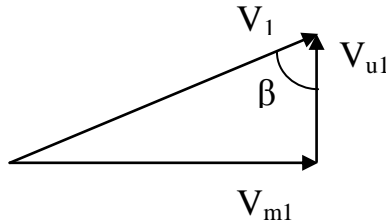


Рисунок 10 – Трикутник швидкостей на вході в РК

При заданому моменті швидкості абсолютна швидкість V_1 є шуканою швидкістю натікання потоку на вході в РК. А кут β є шуканим кутом установки лопаті лопатевого направляючого апарату.

$$\beta = \arctg \frac{V_{m1}}{V_{u1}} \quad (14)$$

Всі інші розміри лопатевого направляючого апарату визначаються конструктивно.

ВИСНОВКИ

Дисертаційна робота присвячена вирішенню актуальної задачі – покращенню характеристик ВЦН за рахунок проектування конструкції підвода, який формує течію з малою нерівномірністю на вході в РК. Основні результати і висновки по даній роботі:

1. В результаті аналітичного аналізу гідродинамічних і геометричних параметрів підвідних пристроїв ВЦН встановлено, що наряду з основною характеристикою підводу коефіцієнтом опору ζ_0 важливе значення мають характеристики потоку, сформованого підводом. Це насамперед середній момент швидкості течії і розподіл швидкостей на вході в РК. Всі вищенаведені показники підводу мають вагомий вплив на всю сукупність експлуатаційних якостей насоса – енергетичні та кавітаційні, вібраційні та шумові характеристики, надійність в роботі і термін служби насоса в цілому.

2. Запропоновано новий тип підвідного пристрою – комбінований підвід, на який отримано патент України на корисну модель. Комбінований підвід складається з базової корпусної деталі з кільцевою камерою і змінної деталі у вигляді лопатевого направляючого апарату. Така конструкція дозволяє формувати на вході в РК потік з малою нерівномірністю за рахунок профілювання лопатей ЛНА для кожного колеса, залишаючи при цьому незмінною базову корпусну деталь. Таким чином можна сказати, що комбінований підвід, виділений в окремий блок, є ще одним кроком у розвитку практики БМП. Конструкція КП дає можливість уніфікувати корпусні деталі ВЦН при їх проектуванні і виробництві. КП рекомендується застосувати при експлуатації насосів зі змінними проточними частинами, де в базовому корпусі встановлюють змінні ротори, що забезпечують роботу насоса в діапазоні подач від 0,5 до 1,2 $Q_{ном}$.

3. За допомогою чисельного дослідження течії на ділянці вихід з підводу – вхід в РК визначено вплив гідродинамічних параметрів течії на характеристики насоса, що дозволило визначити граничні значення моменту швидкості потоку на вході в РК в залежності від втулкового відношення РК. Для досліджуваного РК при збільшенні коефіцієнта моменту швидкості течії на вході в РК з 0,46 (є оптимальна величина) до 0,67 та збільшенні коефіцієнта нерівномірності потоку на 1%, ККД зменшився на 1,7%. Таким чином, для кожного втулкового відношення РК існує гранична величина моменту швидкості, понад якої відбувається порушення радіальної рівноваги потоку і з'являється зворотна течія в привтулковій області. Також виявлено, що установка ЛНА призводить до збільшення гідравлічних втрат в підводі (на 10 - 15%), однак на кінцеві показники (напір і ККД) помітного впливу не робить. Можна зробити висновок, що програш у η_a компенсується поліпшенням рівномірності течії на вході в РК, а також поліпшенням кавітаційних якостей. З огляду на це при конструюванні ЛНА необхідно враховувати не тільки необхідний розрахунковий момент швидкості, а і нерівномірність

структури течії, сформованої на виході з ПП, тому що ці показники надають значний вплив на роботу РК, а значить і на ПЧ в цілому.

4. В результаті проведеного фізичного експерименту перевірена обрана методика дослідження, методика розрахунку ЛНА комбінованого підвода, отримані енергетичні та вібраційні характеристики насоса, а також визначено що:

- застосування КП дозволяє знизити рівень вібрації підшипникових опор насоса від 27 до 31%, що дозволяє підвищити надійність роботи насоса при експлуатації і збільшити ресурс роботи насоса до капітального ремонту;
- відстань між кромками лопаток ЛНА і лопатями РК впливає на характеристики ЦН. В нашому випадку збільшення відстані між крайками лопаток ЛНА і лопатями РК на 5 мм привело до зменшення моменту швидкості потоку на вході в РК, тим самим напір насоса збільшився на 1,5%. Цю властивість можна застосувати при доведенні параметрів ВЦН, як наприклад підрізу РК.

5. Отримана аналітична залежність, яка описує взаємозв'язок між критеріями робочого процесу ВЦН з урахуванням параметрів тривимірного потоку, яка дозволяє більш точно визначити параметри ПП ВЦН під час його проектування.

6. Розроблено методику проектування комбінованих підводів і дані практичні рекомендації щодо застосування їх в ВЦН.

7. Результати дисертаційного дослідження впроваджені на виробництві АТ «Сумський завод «Насосенергомаш», в науково-дослідному інституті АТ ВНДІАЕН та у навчальному процесі СумДУ.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗДОБУВАЧА

1. Карапузова М.В. Исследование структуры течения в боковых подводах гидромашин и некоторые рекомендации по их проектированию / Карапузова М.В., Луговая С.О., Твердохлеб И.Б. // Теория и практика насосо- и компрессоростроения: монография / под ред. В. А. Марцинковского, И. Б. Твердохлеба, Е. Н. Савченко. – Сумы: Сумский государственный университет, 2011. – С. 209-217.

2. Карапузова М.В. О возможности унификации входных крышек центробежных многоступенчатых насосов / А.А. Евтушенко, М.В. Карапузова // Теория и практика насосо- и компрессоростроения: монография / под ред. В. А. Марцинковского, И. Б. Твердохлеба, Е. Н. Савченко. – Сумы: Сумский государственный университет, 2011. – С. 324-330.

3. Карапузова М.В. Результаты определения характеристики рабочего колеса как самостоятельного элемента центробежного насоса / А.А. Евтушенко, М.В. Карапузова, А.В. Неня // Промислова гідравліка і пневматика. – Вінниця : Вид-во ВДАУ. – 2007. – № 2 (16). – С. 40 - 43.
4. Карапузова М.В. Вплив структури течії між основними елементами проточної частини на показники якості лопатевого насосу / А.О. Євтушенко, М.В. Карапузова, А.В. Неня // Вісник СумДУ. – 2007. – Серія Технічні науки №1. – С. 28-34..
5. Карапузова М.В. Актуальность и пути дальнейших исследований подводных устройств динамических насосов. Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – Харьков, 2010 г. – №6/7 (48) – С.16 – 19.
6. Карапузова М.В. Развитие работ по совершенствованию боковых подводов турбомашин / А.А. Евтушенко, М.В. Карапузова, С.О. Луговая // сборник научных трудов 6-й Международной научно-технической конференции. – СПб : Изд-во Политехн. Ун-та. – 2010. – С. 56-57.
7. Патент на корисну модель № 54841 Україна, МПК F04D 7/00. Боковий підвід турбомашини / М.В. Карапузова, А.О. Євтушенко, С.О. Луговая, В.О. Панченко, А.С. Косяненко (Україна). – № u 2010 06392; заявл. 25.05.10; опубл. 25.11.10, Бюл. № 22.
8. Карапузова М.В. Структура течії на ділянці «вихід з підводу – вхід в робоче колесо» та її вплив на показники якості проточної частини насосу / А.О. Євтушенко, М.В. Карапузова, А.В. Неня // Матеріали науково-технічної конференції викладачів, співробітників, аспірантів і студентів інженерного факультету.- Суми: Вид-во СумДУ, 2005. – С.205.
9. Карапузова М.В. Применение комбинированных подводов в динамических насосах – перспективный путь улучшения технико-экономических показателей / А.А. Евтушенко, М.В. Карапузова, М.В. Найда // матеріали Всеукраїнської міжвузівської конференції (Суми, 19-23 квітня 2010 року). Частина III : Вісник СумДУ – Суми : СумДУ, 2010. – С. 25-26.
10. Карапузова М.В. Применение комбинированных подводов – перспективный путь совершенствования динамических насосов / А.А. Евтушенко, М.В. Карапузова // Сучасні технології в промисловому виробництві: матеріали науково-технічної конференції викладачів, співробітників, аспірантів і студентів факультету технічних систем та енергоефективних технологій: у трьох частинах, м. Суми, 18-22 квітня 2011 р. / редкол.: О.Г. Гусак, В.Г. Євтухов. – Суми: СумДУ, 2011. ЧЗ. – С.109.

АНОТАЦІЯ

Карапузова М.В. «Гідродинамічні особливості конструювання комбінованого підводу відцентрового насоса». – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.17 - гідравлічні машини та гідропневмоагрегати. - Сумський Державний університет, Суми, 2012.

У дисертаційній роботі представлені результати дослідження робочого процесу в підвідному пристрої відцентрового насоса. З урахуванням гідродинамічних особливостей робочого процесу систематизовано підхід до проектування підвідного пристрою відцентрового насоса. Запропоновано математичну модель розрахунку підвідного пристрою, обґрунтовано виділення підводу в окремий модуль при блочно-модульному проектуванні.

Основним змістом роботи є аналіз структури течії на ділянці «вихід з підводу - вхід в робоче колесо», вивчення впливу моменту швидкості потоку на вході в робоче колесо на характеристики насоса в цілому. Розроблено новий тип підводу - комбінований підвід, який дозволяє створити наперед задану структуру потоку на вході в робоче колесо. На розроблену конструкцію комбінованого підводу отримано декларативний патент України на корисну модель. Розроблено методичку проектування комбінованого підводу.

Ключові слова: відцентровий насос, підвідний пристрій, коефіцієнт моменту швидкості потоку на вході в робоче колесо, комбінований підвід.

АННОТАЦИЯ

Карапузова М.В. «Гидродинамические особенности конструирования комбинированного подвода центробежного насоса». – Рукопись.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.05.17 – гидравлические машины и гидропневмоагрегаты. – Сумский Государственный университет, Сумы, 2012 г.

В диссертационной работе представлены результаты исследования рабочего процесса в подводящем устройстве центробежного насоса. С учетом гидродинамических особенностей рабочего процесса систематизирован подход к проектированию подводящего устройства центробежного насоса. Предложена математическая модель расчета

подводящего устройства, обосновано выделение подвода в отдельный модуль при блочно-модульном проектировании.

Основным содержанием работы является анализ структуры течения на участке «выход из подвода – вход в рабочее колесо», изучение влияния момента скорости потока на входе в рабочее колесо на характеристики насоса в целом. Для каждого соотношения геометрических параметров рабочего колеса существует свое значение момента скорости потока на входе в рабочее колесо, при котором создается наиболее равномерная структура потока на входе в рабочее колесо, в результате чего обеспечивается протекание рабочего процесса ЦН с оптимальным КПД. Создать требуемую структуру потока на входе в рабочее колесо предлагается путем применения подвода нового типа – комбинированного подвода.

На разработанную конструкцию комбинированного подвода получен декларативный патент Украины на полезную модель. Комбинированный подвод состоит из кольцевой камеры и лопаточного направляющего аппарата. Такая конструкция подвода является технологичной и создает базу для унификации подводящих устройств центробежного насоса. Для обеспечения наиболее эффективного рабочего процесса центробежного насоса проектируется лопаточный направляющий аппарат, который и создает требуемый момент скорости потока на входе в данное рабочее колесо, оставляя при этом неизменной базовую корпусную деталь. Сегодня все чаще при эксплуатации мощных энергоемких насосов на режимах отличных от номинального применяют сменные ротора, которые обеспечивают оптимальную работу насоса на указанных режимах. При этом применяют комбинированные отводы, но не уделяется внимание вопросу создания определенных условий на входе в рабочее колесо. С помощью комбинированного подвода можно решить эту проблему, и с успехом использовать его при проектировании насосов со сменными роторами, что приведет к улучшению ряда эксплуатационных показателей.

При выполнении работы применялись методы исследования: аналитический метод, численное исследование течения в подводящем устройстве центробежного насоса и физический эксперимент. Численное моделирование проводилось с использованием программного продукта ANSYS CFX 11.0 с использованием стандартной $k-\varepsilon$ модели турбулентности. Расчет течения проводился в стационарной постановке. Рабочая жидкость была принята несжимаемой, режим течения – турбулентный. В качестве граничных условий заданы: на входе – массовый расход, на выходе – статическое давление, на всех твердых поверхностях – условие равенства скорости нулю (условие прилипания).

Были определены области интерфейса на границе взаимодействия роторных и статорных элементов. Тип интерфейса был указан как «stage», которое предусматривало осреднение параметров потока по времени.

В результате численного исследования были получены усредненные по времени величины скоростей и давлений для каждой ячейки расчетной сетки. Для определения интегральных величин проводилось осреднение по массовому расходу в контрольных сечениях.

В ходе исследования установлено, что структура течения на выходе из комбинированного подвода более равномерна, чем за полуспиральным или кольцевым подводом, что приводит к равномерному заполнению рабочего колеса и, тем самым, уменьшается неуравновешенность сил осевого давления и улучшается всасывающая способность РК. Кроме того, такая структура потока на входе в рабочее колесо является фундаментом для протекания рабочего процесса в центробежном насосе, оказывая влияние на характеристики насоса в целом.

Для подтверждения численных исследований и методики расчета комбинированного подвода был проведен физический эксперимент, в результате которого были получены интегральные характеристики исследуемого насоса и определено влияние на них момента скорости потока, формируемого подводящим устройством. Экспериментально подтверждено, что применение комбинированного подвода позволяет снизить уровень вибрации подшипниковых опор насоса от 27 до 31%, что позволяет повысить надежность работы насоса при эксплуатации и увеличить ресурс работы насоса до капремонта. Определено влияние расстояния между кромками лопаток лопаточного направляющего аппарата и лопастями рабочего колеса на характеристики центробежного насоса. Увеличение расстояния указанного расстояния на 5 мм приводит к уменьшению момента скорости потока на входе в рабочее колесо, что приводит к увеличению напора насоса на 1,5%. Это свойство можно использовать как дополнительный инструмент при «доводке» параметров центробежного насоса, как, например, подрезка рабочего колеса.

Получена аналитическая зависимость, которая описывает взаимосвязь между критериями рабочего процесса центробежного насоса с учетом параметров трехмерного потока, которая позволяет более точно определить параметры подводящего устройства центробежного насоса во время его проектирования.

Разработана методика проектирования комбинированного подвода.

Ключевые слова: центробежный насос, подводящее устройство, комбинированный подвод, структура потока на входе в рабочее колесо, момент скорости потока на входе в рабочее колесо.

SUMMARY

Maryna V. Karapuzova “Hydrodynamic Special Features of Centrifugal Pump Suction Chamber of Combined Type Designing”. –Manuscript
Engineering Science Candidate Paper, Speciality 05.05.17 – Hydraulics
Machines and Hydro-pneumatic Units.

Candidate Paper performs research results of operating process at centrifugal pump suction chamber. Centrifugal pump suction chamber designing has been systematized due to the hydro-mechanical features of operating process. Mathematical (designing) model of suction chamber has been proposed, suction chamber separation as a separate module has been approved for block-module designing.

The basic content of the Paper is flow structure analyze at the area “outlet of the suction chamber–impeller inlet” and studying influence of the flow velocity moment at impeller inlet on the pump characteristics. Suction chamber of a new type has been developed – combined suction chamber, which allows creating predictable flow structure at impeller inlet. Developed design of the combined suction chamber is protected and confirmed with Declarative Patent of Ukraine for the “Useful Model”.

To ensure the most effective impeller operating process we should design vane diffuser, which would create required flow velocity torque at impeller inlets. Designing procedure for suction case of combined type has been developed.

Key terms: centrifugal pump, suction case, flow velocity torque at impeller inlet, combined type suction case.

Підписано до друку 24.10.2012 р.
Формат 60x84/16. Ум. друк. арк.1,1 Обл.-вид. арк. 0,9. Тираж 100 прим. Зам. №

Видавець і виготовлювач
Сумський державний університет,
вул. Римського-Корсакова, 2, м.Суми,40007
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 3062 від 17.12.2007 р.