

На правах рукопису



Гусак Олександр Григорович

**ВДОСКОНАЛЕННЯ ПРОТІЧНИХ ЧАСТИН
ЗАНУРЮВАЛЬНИХ МОНОБЛОЧНИХ НАСОСНИХ АГРЕГАТІВ
ВИСОКОЇ ШВИДКОХІДНОСТІ**

**Спеціальність 05.04.13 - гідравлічні машини та
гідропневмоагрегати**

**Автореферат дисертації на здобуття вченого ступеня
кандидата технічних наук**

Суми 1997

Дисертацією є рукопис.
Робота виконана на кафедрі гідрологічного університету.

ЛННБ України ім.В.Стефаника



00752965 (Y)

Науковий керівник - кандидат технічних наук, доцент
Євтушенко Анатолій Олександрович

Офіційні опоненти - доктор технічних наук, професор
Лур'є Зіновій Якович;
кандидат технічних наук, заслужений
меліоратор України
Подласов Олександр Володимирович.

Провідна організація - Орендне підприємство
"Науково-дослідний інститут атомного
та енергетичного насособудування", м. Суми

Захист відбудеться 15 травня 1997 р. о 13 годині на
засіданні спеціалізованої вченої ради К 22.01.02 в Сумському держав-
ному університеті (244007, м. Суми, вул. Римського-Корсакова, 2)

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Сумського дер-
жавного університету (м. Суми, вул. Римського-Корсакова, 2)

Автореферат розісланий "10" квітня 1997р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

Неня В.Г.

1. Загальна характеристика роботи

В даний час загальна площа земель, що осушуються, в Україні складає близько 3.0 млн. га. Осушення переволжених земель здійснюється як самоточним способом, так і машинним водопідйомом на 350 насосних станціях з загальною подачею 535 м³/с та сумарною потужністю встановленого обладнання більше 70 тис. кВт. Насосні станції осушувальних систем України комплектуються переважно низьконапірними осьовими насосами, виробництво яких в Україні відсутнє.

В середині 60-х років спеціалістами Укрдпрводгоспу розроблено новий тип відкритих насосних станцій без підземної частини з використанням на них занурювальних моноблочних насосних агрегатів високої швидкохідності (ЗМНА). Відповідне насосне обладнання було створено спеціалістами ВО "Уралгідромаш" (агрегати типу ОПВ) та НВО "Молдавгідромаш" (агрегати типу ОМПВ). Протічні частини вказаних ЗМНА були розроблені з використанням лопатевих систем високої швидкохідності (схема "робоче колесо - випрямний апарат"- тип РВ), відпрацьованих раніше спеціалістами ВДІГідромаш (Москва) для насосних агрегатів інших конструктивних схем (жорстко- та поворотнолопатеві вертикальні осьові насосні агрегати типів О та ОП). Конструктивні особливості ЗМНА змінили умови роботи типових лопатевих систем (перехід на схему "напрямний апарат - робоче колесо - випрямний апарат" (тип НРВ) в агрегатах ОПВ та відхилення випрямного апарату (ВА) від типового в агрегатах ОМПВ), що негативно відбилось на їх енергетичних характеристиках. Разом з тим, інші техніко-економічні переваги переходу до створення відкритих насосних станцій нового типу визначили доцільність широкого використання вказаних менш економічних в роботі ЗМНА. Зараз тільки агрегатів ІОПВ 2500-4.2 працює близько 600 штук на 158 насосних станціях в 14 областях України.

З 1983 по 1990 роки на замовлення ВО "Уралгідромаш" кафедрою гідромашин СумДУ проводився комплекс прикладних НДР, спрямований на пошук шляхів підвищення економічності протічних частин агре-

гатів типу ОПВ. Пошукач став відповідальним виконавцем вказаних робіт з 1987 року. Проведені НДР визначили стратегічний напрямок вирішення поставленої задачі - відмова від використання типових лопатевих систем, які проектувались за умови наявності перед робочим колесом (РК) впорядкованої структури незакрученого потоку рідини. Пошукачем була сформульована пропозиція створення протічних частин ЗМНА по схемі "напрямний апарат - робоче колесо" (тип НР), в якій РК працює в умовах наявності на його вході закрученого потоку рідини. Реалізація даної пропозиції дозволяла зменшити трудомісткість та матеріаломісткість виготовлення насосних частин агрегатів типу ОПВ на 15 - 20%, але потребувала спеціальних широкомасштабних досліджень в пошуках шляхів забезпечення відповідного рівня економічності таких протічних частин. В науковій літературі по гідродинаміці осьових насосів було присутнє однозначне твердження про теоретично обумовлене більш низьке значення ККД лопатевих систем типу НР в порівнянні з лопатевими системами типу РВ. Проведення комплексу вказаних досліджень і стало темою даної дисертаційної роботи.

2. Актуальність і ступінь дослідженості тематики дисертації

Актуальність дисертаційної роботи обумовлена:

- відсутністю в Україні власного виробництва ЗМНА високої швидкохідності при значній потребі в них водного господарства;
- наявністю виробничого потенціалу України та науково - технічних напрацювань, що забезпечують можливість створення агрегатів нового покоління з покращеними по відношенню до агрегатів, що імпортуються, енергетичними та масо-габаритними характеристиками.

Ступінь дослідженості тематики дисертації на час постановки даної роботи характеризувалась станом:

- лопатеві системи насосів високої швидкохідності, в тому числі ЗМНА, відповідно до рекомендацій існуючої науково-методичної літератури, проектуються за умови наявності перед РК впорядкованої структури незакрученого потоку рідини;

- єдина методика систематизації і впорядкування прикладних НДР по створенню нових моделей насосних протічних частин відсутня, в той час такі НДР є досить складними і трудомісткими;

- заміна фізичного експерименту розрахунковим дає значний вигравш в матеріальних витратах і часі, але наявні математичні моделі течії в протічних частинах гідромашин потребують свого вдосконалення; актуальною задачею є як розробка нових математичних моделей, так і напрацювання методичного досвіду використання існуючих.

3. Мета роботи та основні завдання наукового дослідження

Метою роботи є розробка науково-методичних основ створення високоефективних протічних частин для ЗМНА високої швидкохідності, забезпечення з їх використанням можливості освоєння виробництва в Україні даного типу насосного обладнання.

Для досягнення мети сформульовані задачі:

- визначити раціональну конструктивну схему та доцільність створення спеціалізованих протічних частин для ЗМНА замість існуючої практики використання для цих цілей типових лопатевих систем високої швидкохідності;

- провести експериментально-розрахункову перевірку існуючих відомостей про вплив підвідного пристрою на характеристику лопатевої системи насосу високої швидкохідності;

- розробити методику проектування протічних частин раціональної конструктивної схеми для ЗМНА високої швидкохідності;

- сформулювати постановку задачі створення атласу модельних протічних частин раціональної конструктивної схеми для ЗМНА високої швидкохідності, визначити шляхи її розв'язання;

- створити одну з базових моделей протічної частини раціональної конструктивної схеми для ЗМНА високої швидкохідності, оцінити можливість скорочення в подальшому обсягу прикладних НДР по відпрацюванню всього атласу модельних протічних частин.

4. Теоретична та практична цінність досліджень

Теоретична цінність роботи полягає в доведенні можливості створення високоефективних лопатевих систем насосів високої швидкохідності, що працюють при наявності значного по величині і негативного за знаком моменту швидкості потоку перед РК.

Практична цінність роботи полягає в тому, що:

- розроблено методику проектування протічних частин для ЗМНА високої швидкохідності з новим видом лопатевих систем (НР);
- створені високоефективні протічні частини з лопатевими системами типів НРВ і НР для ЗМНА високої швидкохідності;
- визначено параметричний ряд базових модельних протічних частин з лопатевими системами типу НР;
- видані рекомендації по створенню на базі одержаної математичної моделі течії у відвідному пристрої ЗМНА засобів для заміни частини фізичного експерименту розрахунковим, що дозволить скоротити час і витрати на створення протічних частин насосів високої швидкохідності.

5. Наукова новизна роботи

Наукова новизна роботи полягає в тому, що:

- показана можливість створення високоефективних лопатевих систем високої швидкохідності, які працюють при наявності значного по величині і негативного за знаком моменту швидкості потоку перед РК;
- доведена енергетична рівноцінність лопатевих систем високої швидкохідності типів РВ та НР;
- одержані основні розрахунково-експериментальні залежності для створення методики проектування лопатевих систем типу НР;
- визначено і обґрунтовано принцип побудови параметричного ряду базових модельних протічних частин насосів з лопатевою системою типу НР;
- запропонована нова постановка задачі розрахунку течії в'язкої рідини у відвідному пристрої ЗМНА з використанням одержаної математичної моделі у вигляді узагальнених рівнянь Прандтля.

6. Рівень реалізації та впровадження наукових розробок

Наукові розробки реалізовані при виконанні держбюджетних НДР по темах 80.13.03.94-96 д/б "Дослідження системних ефектів в гідродинамічних насосних установках" (замовник - Міносвіти України) та 80.13.04.94-96 д/б "Дослідження і створення модельних протічних частин по схемі "напрямний апарат - робоче колесо" для типорозмірного ряду моноблочних осьових занурювальних насосів" (ЦКНТП "Наука-4010", замовник - Мінмашпром України).

Створена протічна частина з лопатевою системою типу НРВ використана у проєкті насосного агрегату ОПМ 2500-5 (договір 80.13.17.95), розробленому ВНДІАЕН на замовлення Держкомводгоспу України. Виробництво агрегатів ОПМ 2500-5 освоюється Київським заводом "Ленінська кузня".

Створена в ході експериментальної перевірки розробленої методики проектування протічна частина з лопатевою системою типу НР ввійшла до запропонованого атласу базових модельних протічних частин вказаної конструктивної схеми. При завершенні робіт по створенню атласу відкривається можливість розробки нового покоління агрегатів типу ОПМ зі зменшеною на 15 - 20% трудомісткістю і матеріаломісткістю виготовлення їх насосних частин.

Матеріали роботи використані в курсі "Лопатеві гідромашини і передачі", які вивчаються студентами СумДУ по спеціальності 7.090209 "Гідравлічні машини, гідропривод і гідропневмоавтоматика".

7. Апробація та публікація результатів роботи

Основні результати дисертаційної роботи доповідались:

- на науково-технічних конференціях викладачів, співробітників та студентів СумДУ щорічно з 1991 по 1996 рр. включно;
- на республіканській науково-технічній конференції "Научно-технические проблемы энергомашиностроения и пути их решения", м. С.-Петербург, 1992р.;
- на науково-технічній конференції "Гідромеханіка в інженерній

практиці", м. Київ, 1996р.;

- на міжнародній науково - технічній конференції "Насоси-96", м. Суми, 1996р.

Основні результати роботи відображені в публікаціях, з яких: 5 - статті в тематичних збірниках наукових праць, 7 - тези доповідей на науково-технічних конференціях.

8. Обсяг та структура роботи

Дисертаційна робота складається із вступу, шести глав, заключення, списку використаних першоджерел із 104 найменувань та 2-х додатків. Містить 213 сторінок машинописного тексту, 46 рисунків, 15 таблиць.

9. Декларація особистого внеску дисертанта у розробку наукових результатів, що виносяться на захист

В ході підготовки дисертаційної роботи особисто отриманими пошукачем результатами є:

- проведення розрахунково-теоретичних досліджень по: доведенню енергетичної рівноцінності лопатевих систем типів РВ та НР; доказу необхідності та виявленню особливостей створення методики проектування лопатевих систем високої швидкохідності типу НР і протічних частин для ЗМНА на їх основі; визначенню номенклатури типорозмірного ряду базових модельних протічних частин ЗМНА з лопатевими системами типу НР; напрацюванню методичного досвіду використання відомої квазітривимірної постановки задачі розрахунку течії в протічній частині гідромашини стосовно нового типу насосної лопатевої системи високої швидкохідності; постановці задачі розрахунку течії в'язкої рідини у відвідному пристрої ЗМНА з використанням математичної моделі у вигляді узагальнених рівнянь Прандтля;

- підготовка та проведення експериментальних досліджень: впливу способу установки ЗМНА при експлуатації на їх зовнішні характеристики; впливу параметрів підвідного пристрою на характеристики ЗМНА; по відпрацюванню лопатевих систем типу НРВ для ЗМНА, в

тому числі, протічної частини з лопатевою системою типу НРВ для першого вітчизняного ЗМНА ОПМ 2500-5; по отриманню основних розрахунково-експериментальних залежностей для створення методики проектування лопатевих систем типу НР; по перевірці методики проектування лопатевих систем типу НР і створенню в ході її виконання базової модельної протічної частини з лопатевою системою типу НР ($n_s = 645$);

- обробка, аналіз та узагальнення результатів дослідження.

10. Характеристика методології дослідження об'єкта

Експериментальні дослідження модельних протічних частин насосів були виконані на спеціально розробленому стенді в міжгалузевій проблемній лабораторії гідродинамічних насосних установок і приводів при кафедрі гідромашин СумДУ.

Теоретичною базою для вибору напрямку досліджень стали гіпотеза проф. Руднева С.С. про можливість створення малогабаритного діагонального насосу шляхом введення значного позитивного закручування потоку перед робочим колесом та результати її перевірки кандидатами технічних наук Вертячих О.В., Євтушенком А.О. та Швіндіним О.І.

Розробка методики проектування протічних частин з лопатевими системами типу НР виконувалась на базі наукових праць по гідродинаміці осьових насосів канд. техн. наук, доц. Папіра А.Н. та відпрацьованої під його керівництвом кандидатами технічних наук Вальчуком В.С., Гольденштейном О.М. та Євтушенком А.О. методики використання при створенні протічних частин насосів програми Раухмана Б.С. розрахунку обтікання ґратки профілів у шарі змінної товщини. Пошук нової математичної моделі течії в'язкої рідини у відвідному пристрої ЗМНА проводився з використанням наукових праць К. Флетчера.

11. Зміст роботи

У вступі дається стисла характеристика виконаної дисертаційної роботи.

У першій главі розглянуто актуальність та ступінь дослідженості теми дисертаційної роботи. Виконано огляд існуючих конструктивних схем протічних частин ЗМНА високої швидкохідності, проаналізовано стан теорії та практики їх розробки і обґрунтовується необхідність їх вдосконалення. Розглянуто науково-технічні передумови створення вискоефективних насосних лопатевих систем типу НР, стан та шляхи вдосконалення існуючої практики розробки нових моделей протічних частин гідродинамічних насосних агрегатів.

У другій главі визначаються основні задачі, вирішенню яких присвячена дисертація. Дається обґрунтування вибору об'єкта і способу проведення дослідження.

Задача створення вискоефективної протічної частини ЗМНА розглядається як двоетапна: вдосконалення протічної частини ЗМНА існуючої конструктивної схеми (лопатева система типу НРВ); створення протічної частини ЗМНА з лопатевою системою типу НР.

Постановка задачі створення атласу модельних протічних частин ЗМНА і визначення шляхів її вирішення здійснюється на базі конструктивної схеми протічної частини з лопатевою системою типу НР.

В ролі об'єкта дослідження взято модельні протічні частини з лопатевими системами НРВ і НР ($n_s=645$). Прийнятий спосіб дослідження - розрахунково-експериментальний. Для проведення розрахункового експерименту використовується існуюча математична модель течії в квазітривимірній постановці в цілому і програма Раухмана Б.С. розрахунку обтікання граток профілів у шарі змінної товщини зокрема.

У третьій главі описуються експериментальна установка, засоби вимірювання, методика проведення експериментального дослідження і наведена оцінка похибок вимірювання експериментальних величин.

Експериментальний стенд дозволяв проводити енергетичні і кавітаційні випробування насосів, а також здійснювати візуалізацію потоку рідини на вході в РК.

У четвертій главі викладені результати дослідження протічної час-

тини ЗМНА існуючої конструктивної схеми (лопатева система типу НРВ) і наведені методичні рекомендації щодо її вдосконалення.

Виконаний співставний аналіз двох існуючих основних конструктивних схем протічних частин ЗМНА дозволив по сукупності експлуатаційних (питоме споживання електроенергії) та виробничо-технологічних (матеріало- і трудомісткість виготовлення) витрат віддати перевагу ЗМНА з переднім розташуванням приводного двигуна.

Порівняльний аналіз охоплював також дослідження впливу способу установки ЗМНА у водозабірній камері (горизонтального і вертикального) при експлуатації на їх зовнішні характеристики. Отримані характеристики протічної частини занурювального насосу типу ОМПВ (заднє розташування двигуна) свідчать про значний вплив способу установки на його зовнішні характеристики (відзначено зниження величини напору, ККД ($\approx 3\%$), переміщення оптимального режиму роботи насосу в бік менших подач). У всіх випробуваннях насосу з протічною частиною типу ОПВ (переднє розташування двигуна) істотного зниження напору і ККД не відзначено. Таким чином, була встановлена додаткова перевага конструктивної схеми ЗМНА з переднім розташуванням двигуна порівняно з конструктивною схемою насосного агрегату заднього розташування двигуна. Конструктивна схема протічної частини ЗМНА з переднім розташуванням двигуна (лопатева система типу НРВ) стала вихідною для її подальшого вдосконалення.

Виконані розрахунково-експериментальні дослідження підтвердили, в цілому, відомий факт росту впливу підвідного пристрою на рівень економічності протічної частини насосу з ростом його швидкохідності. Вказаний вплив має місце як за рахунок гідравлічних втрат енергії у власне підвідному пристрої, так і, що найбільш суттєво, внаслідок впливу на енергетичні якості насосу структури потоку, що формується на виході з підвідного пристрою. Для підвищення економічності протічної частини ЗМНА з лопатевою системою типу НРВ були проведені дослідження, спрямовані на вирішення наступних окремих задач:

- мінімізація гідравлічних втрат у підвідному пристрої;
- формування підвідним пристроєм структури потоку перед РК, близької до розрахункової для існуючих осьових насосів (лопатева система РВ) - колова симетрія при рівномірній епюрі розподілу меридіанної швидкості вздовж радіуса.

При вирішенні першої з поставлених задач були встановлені фактори, що найбільш впливають на гідравлічні втрати, і розроблені методичні рекомендації по їх мінімізації.

Колова та радіальна нерівномірності - взаємопов'язані фактори, але ступінь впливу радіальної нерівномірності істотно менша, ніж колової. Базуючись на одержаних результатах дослідження, в якості основного способу зменшення колової нерівномірності розподілу швидкостей за підвідним пристроєм визначено створення останнім моменту швидкості потоку, достатнього для знешкодження кромочного сліду в зоні розташування РК. Наявність незначного негативного за знаком моменту швидкості потоку перед РК забезпечує розрахункове обтікання його лопатей (без кутів атаки, як і в осьових насосах типів О і ОП), що сприяє зменшенню гідравлічних втрат. Перевірка впливу негативного моменту швидкості потоку перед РК на антикавітаційні якості показала допустимість його використання для ЗМНА.

Розглянуто питання про заміну просторових лопаток напрямного апарату (НА) циліндричними, залишаючи їх створюючими таку ж величину моменту швидкості потоку, що й просторові. За даними експерименту така заміна приводить до зниження ККД на 0.5 - 1%. Беручи до уваги ускладнення технології при виготовленні просторових лопаток, конструктивні складності, а також наявність можливості зменшити небажаний вплив радіальної нерівномірності іншим шляхом (проектування відповідним чином лопатей РК), зроблено висновок про доцільність застосування в протічній частині ЗМНА циліндричних лопаток НА. За результатами виконаних досліджень даються методичні рекомендації, використання яких дозволяє підняти рівень економічності

існуючої протічної частини ЗМНА (лопатева система НРВ) до рівня економічності протічної частини типового осьового насосу (лопатева система РВ), робочі органи якого застосовані в конструкції ЗМНА. Розроблена модельна протічна частина ЗМНА ($n_s=645$) використана при створенні першого в Україні ЗМНА ОПМ 2500 - 5.

У п'ятій главі обґрунтовується можливість і шлях переходу до конструктивної схеми протічної частини ЗМНА з лопатевою системою типу НР, що базується на наступних встановлених положеннях:

- наявність значного негативного за знаком моменту швидкості потоку перед РК протічної частини ЗМНА (схема лопатевої системи НРВ) при відповідному виборі кута встановлення лопатей РК практично не приводить до зниження рівня ККД;

- відоме з літератури положення про теоретично зумовлену більш низьку економічність насосних лопатевих систем типу НР порівняно з типом РВ є неточним.

Виконаний аналіз балансів енергій в порівнюваних лопатевих системах дозволив зробити висновок про їх енергетичну рівноцінність, що зумовило доцільність постановки задачі створення протічних частин ЗМНА на базі лопатевих систем типу НР. Останнє дозволяє виключити зі складу насосних частин ЗМНА ВА, собівартість виготовлення якого складає 15 - 20% собівартості виготовлення насосних частин в цілому.

Визначені основні положення побудови і номенклатура типорозмірного ряду ЗМНА з протічними частинами на базі лопатевих систем типу НР, який перебиває встановлене поле параметрів $Q - H$ ($H < 15$ м; $200 \text{ м}^3/\text{час} < Q < 20000 \text{ м}^3/\text{час}$). Номенклатура ряду включає дев'ять базових модельних протічних частин з величинами коефіцієнту швидкохідності n_s (показника конструкції λ_E): 455 (0.32); 550 (0.25); 645 (0.2); 765 (0.16); 920 (0.125); 1085 (0.1); 1290 (0.08); 1540 (0.063); 1830 (0.05). Вказано на додаткову перевагу протічних частин на базі лопатевих систем типу НР в порівнянні з лопатевими системами других типів - наявність практичної можливості в осьових насосах з жорстколопатевими РК забезпечити

чувати широкий робочий діапазон напорів одного типорозміру шляхом відповідного підрізання лопаток підвідного пристрою.

Виявлені основні геометричні і гідродинамічні фактори, що визначають рівень економічності протічних частин з лопатевими системами типу НР. Вони зводяться до наступних найбільш значимих розходжень з відомими методичними рекомендаціями по проектуванню лопатевих систем типу РВ: вибір величини зовнішнього діаметра РК, вибір втулочних відношень на вході і виході РК, поява нових елементів - НА і обтікача РК.

Одержана залежність для розрахунку зовнішнього діаметра РК лопатевої системи типу НР:

$$D_{pk} = 4.6 D_q, \quad (1)$$

де $D_q = (Q/n)^{1/3}$ при $[Q]=\text{м}^3/\text{с}$ і $[n]=\text{об}/\text{хв}$ - характерний розмір, введений проф. Руднєвим С.С., який широко використовується в насособудуванні.

Умовою визначення величини втулочного відношення на вході в РК ($\bar{d}_{em1} = d_{em1}/D_{pk}$) прийнята відсутність зворотних течій вздовж втулки в залежності від величини безрозмірного коефіцієнта моменту швидкості набігаючого потоку m ($m = (K_1 D_{np})/Q$, де K_1 - момент швидкості потоку на вході в РК, D_{np} - приведений вхідний діаметр РК):

$$\bar{d}_{em1} > 0.28 \quad \text{при} \quad m < 0.5. \quad (2)$$

Втулочне відношення на виході РК ($\bar{d}_{em2} = d_{em2}/D_{pk}$) визначає його енергетичні якості. Дане положення в цілому зберігає свою актуальність і для протічних частин типу НР, проте існуючі рекомендації по вибору \bar{d}_{em2} для протічних частин типу РВ на протічні частини типу НР перенесені бути не можуть по наступним обставинам:

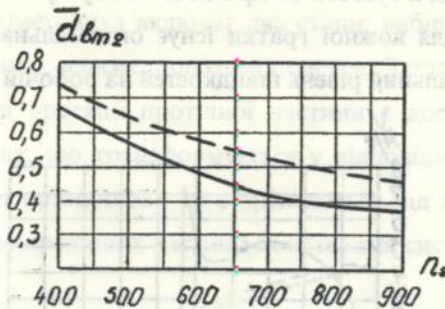
- закручування потоку перед РК змінює епюру розподілу відносної швидкості по його лопатям і для збереження її оптимальної форми

(такої, як в типових лопатевих системах РВ) необхідно змінювати величину діагональності втулки колеса;

- в протічній частині типу НР додатковим фактором, впливаючим на її енергетичні показники, є вихідний обтікач РК.

Виходячи з цього, був розрахований (при використанні результатів обтікання лопатей РК по програмі Б.С.Раухмана) і експериментально перевірений графік вибору втулочного відношення на виході РК

$\bar{d}_{em2} = f(n_s)$ для протічних частин типу НР (рис. 1).



----- робоче колесо - випрямний апарат

————— напрямний апарат - робоче колесо

Рисунок 1 - Залежність оптимального втулочного відношення на виході РК від коефіцієнту швидкохідності

Конструкція обтікача РК, що розташований в вихідній дифузорній камері, повинна забезпечувати його обтікання з мінімальними гідравлічними втратами. Літературні дані не дають однозначних рекомендацій по вибору найбільш значимих геометричних факторів обтікача - його довжини і форми. Проведений комплекс досліджень, спрямований на визначення впливу довжини і форми обтікача за РК на економічність протічної частини, показав доцільність виконання обтікача в вигляді тіла обертання, твірна поверхні якого є кривою мінімального гідравлічного опору. Значення довжини обтікача може змінювати загальний ККД протічної частини типу НР в межах 1.5 - 2.5%. Оптимальною довжиною обтікача можна вважати її значення, що дорівнює 60%

від величини зовнішнього діаметра робочого колеса.

Пошук рекомендацій по вибору густоти ґраток (l/t) лопаток конфузорного радіально-осьового НА вівся на основі аналізу характеру розподілу абсолютних швидкостей вздовж довжини профіля ґратки і величини осереднених втрат. З цієї метою використовується рішення на ЕОМ прямої гідродинамічної задачі обтікання ґраток профілів.

На рис. 2 представлена еюра розподілу швидкостей на профілях ґратки, розташованої на середній поверхні течії радіально-осьового НА, в залежності від її густоти l/t при постійному куті виходу потоку. Встановлено, що для кожної ґратки існує оптимальна густота l/t , що забезпечує мінімальний рівень швидкостей на робочій стороні, відсутність

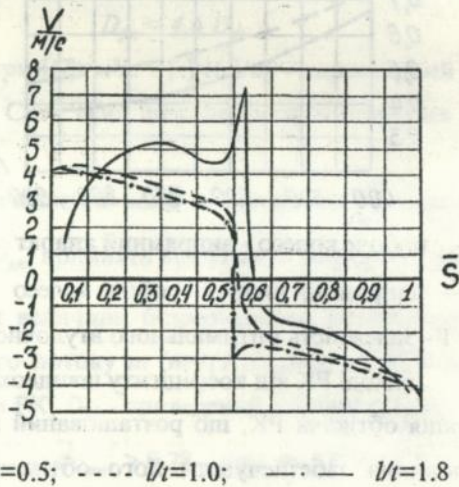


Рисунок 2 - Розподіл швидкостей на профілях ґратки, розташованої на середній поверхні течії радіально-осьового НА, в залежності від її густоти l/t

пиків швидкостей на вхідній кромці і непротяжний дифузійний відділок на тильній стороні. Оптимальній густоті ґратки відповідає і мінімум сумарних втрат:

$$h = h_{np} + h_{y0}, \quad (3)$$

де h_{np} - профільні втрати, що знаходяться по алгоритму програми (метод Раухмана Б.С.);

h_{yd} - втрати на "удар", що пов'язані з несприятливим обтіканням вихідної кромки (наявність піка швидкостей).

За результатами проведених досліджень одержана залежність густоти ґратки l/t радіально-осьового НА від кута виходу потоку α_2 при постійному куті входу потоку $\alpha_1=90^\circ$ (рис. 3).

У шостій главі описана методика проектування протічних частин ЗМНА з лопатевою системою типу НР та результати її експериментальної перевірки.

Розроблена методика включає два етапи: вибір меридіанної проєкції і проектування, власне, лопатевих систем. Загальною умовою вибору меридіанної проєкції протічної частини є досягнення мінімуму гідравлічних втрат, що трансформується у відповідні методичні рекомендації. Останні принципово не відрізняються від аналогічних рекомендацій стосовно протічних частин з лопатевими системами типу НРВ.

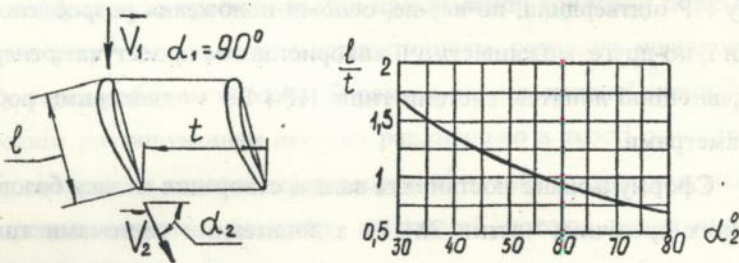


Рисунок 3 - Залежність оптимальної густоти ґратки радіально-осьового НА від кута виходу потоку

Методика проектування лопатевих систем НА і РК базується на послідовному застосуванні оберненої і прямої гідродинамічних задач. За допомогою оберненої задачі визначається форма лопаті РК (метод Вознесенського - Пекіна або Лесохіна - Симонова) і лопатки НА (метод Бауерсфельда). Рішення прямої задачі обтікання ґраток профілів, розташованих на осесиметричних поверхнях течії в шарі змінної товщини (метод і програма Б.С.Раухмана), дає можливість розрахунковим шляхом оцінити варіанти лопатевих систем в частині:

- забезпечення необхідного теоретичного напору;
- співпадання розрахункової і оптимальної подачі;
- прогнозування кавітаційної характеристики.

Такий підхід дозволив відбрати для виготовлення і випробування кращі лопатеві системи, що значно скорочує час і собівартість розробки протічних частин ЗМНА.

Співставні експериментальні випробування модельних протічних частин ЗМНА з лопатевими системами ($n_p=645$) типів НР і НРВ (економічність якої доведена до рівня економічності протічних частин типових осьових насосів з лопатевою системою РВ) показали їх рівноцінність по економічності. Неспівпадання теоретичного напору протічної частини з лопатевою системою НР по результатам рішення прямої задачі обтікання і одержаного експериментально складає в оптимальному режимі біля 4%. Таким чином, експериментальна перевірка методики проектування протічних частин ЗМНА з лопатевими системами типу НР підтвердила, по-перше, основні положення розробленої методики і, по-друге, можливість з її використанням проектувати енергетично рівноцінні лопатеві системи типів НР і РВ з однаковими робочими параметрами.

Сформульована постановка задачі створення атласу базових модельних протічних частин ЗМНА з лопатевими системами типу НР, проаналізовані можливі шляхи її вирішення. Запропонована нова постановка задачі розрахунку течії у відвідному пристрої ЗМНА з використанням математичної моделі у вигляді узагальнених рівнянь Прандтля. Видані рекомендації по створенню на її базі засобів для збільшення обсягу розрахункового експерименту замість фізичного. Реалізація розробленої моделі на ЕОМ виходить за межі даної дисертаційної роботи і буде темою подальших досліджень.

12. Основні результати роботи та підсумки

Основними результатами, одержаними в дисертаційній роботі є:

1. Порівняльний аналіз відомих конструктивних схем ЗМНА ви-

сокої швидкохідності показав, що по сукупності експлуатаційних (питоме споживання електроенергії і залежність зовнішніх характеристик від способу установки) та виробничо-технологічних (матеріало- і трудомісткість виготовлення) витрат перевагу слід надати ЗМНА з переднім розташуванням приводного двигуна. Конструктивна схема ЗМНА з переднім розташуванням приводного двигуна та лопатевою системою типу НРВ є вихідною для подальшої її вдосконалення.

2. По відношенню до ЗМНА з переднім розташуванням приводного двигуна підтверджено факт росту впливу підвідного пристрою на рівень економічності протічної частини з ростом швидкохідності як за рахунок гідравлічних втрат енергії, власне, у підвідному пристрої, так і, що найбільш суттєво, через вплив на енергетичні якості насосу структури потоку, що формується на виході із підвідного пристрою (так звані радіальна і колова нерівномірності).

3. Колова і радіальна нерівномірності взаємопов'язані фактори, але невирішеною проблемою при проектуванні лопатевої системи насосу, в першу чергу, є колова нерівномірність розподілу швидкостей потоку перед робочим колесом. В рамках конструктивної схеми ЗМНА з переднім розташуванням двигуна раціонально в якості основного способу зменшення колової нерівномірності потоку за підводом визначити створення останнім моменту швидкості потоку, достатнього для знешкодження кромочного сліду в зоні розташування робочого колеса.

4. В ході досліджень розроблена протічна частина ЗМНА з лопатевою системою типу НРВ, яка була використана для створення першого в Україні ЗМНА ОПМ 2500-5. Робочий проект вказаного насосного агрегату розроблений ВНДІАЕН при участі СумДУ, серійне виробництво налагоджується Київським заводом "Ленінська кузня".

5. Показана неточність відомого в літературі висновку щодо нижчої економічності насосних лопатевих систем типу НР порівняно з РВ. Виконаний аналіз балансів енергій в порівнюваних лопатевих системах дозволив зробити висновок про їх енергетичну рівноцінність, що

відкриває можливість подальшого вдосконалення конструктивної схеми ЗМНА. Заміна лопатевих систем типу НРВ на тип НР дозволяє виключити зі складу насосних частин ЗМНА виправляючий апарат, собівартість виготовлення якого складає 15 - 20% собівартості виготовлення насосних частин агрегатів в цілому.

6. Розроблено методику проектування лопатевих систем типу НР та протічних частин насосів високої швидкості на їх основі.

7. Визначено параметричний ряд базових модельних протічних частин з лопатевими системами типу НР. Створена одна з базових моделей вказаного параметричного ряду.

8. Видані рекомендації по створенню на основі нової математичної моделі течії у відповідному пристрої ЗМНА засобів для заміни частини фізичного експерименту розрахунковим, що дозволить скоротити час і витрати на створення атласу модельних протічних частин з лопатевими системами типу НР та може бути корисним при розробці інших протічних частин лопатевих насосів.

13. Список опублікованих наукових праць

1. Евтушенко А.А., Калиниченко П.М., Гусак А.Г. Пути совершенствования подводных устройств осевых погружных насосов с передним расположением двигателя // Гидравлические машины.- Харьков: Изд-во ХГУ, 1987. - вып. 21, С. 117 - 122.

2. Гусак А.Г., Евтушенко А.А., Коваленко С.А. Результаты исследования влияния на характеристики погружных моноблочных насосов способа их установки при эксплуатации // Тез. докл. науч.- техн. конф. преп., сотр. и студ. Сумск. физ.- технол. ин-та. - Сумы: РИО объединение по печати, 1991.- С. 133.

3. Гусак А.Г., Евтушенко А.А. Оптимизация конструктивной схемы проточной части погружных моноблочных насосов высокой быстроходности// Химическое машиностроение. Сб. научн. трудов / Отв. ред. Хворост В.А.- К.: УМК ВО, 1992.- С. 68 - 77.

4. Гусак А.Г., Евтушенко А.А. К вопросу о взаимном расположе-

нии рабочего колеса и аппарата в осевом насосе / Научно - технические проблемы энергомашиностроения и пути их решения: Сб. Респ. научн.-техн. конф. // Тез. докл. - С.-Пб: С.-Петербургский гос. техн. ун - т, 1992.- С. 31.

5. Гусак А.Г. Экспериментальная установка для испытаний модельных проточных частей погружных насосов высокой быстроходности // Тез. докл. научн.- техн. конф. преп., сотр. и студ. Сумск. физ.-технол. ин -та. - Сумы: РИО объединение по печати, 1992.- С. 107.

6. Гусак А.Г., Евтушенко А.А. Выбор оптимального втулочного отношения рабочего колеса высокой быстроходности при наличии отрицательной закрутки потока на входе // Тез. докл. научн.- техн. конф. преп., сотр. и студ. Сумск. физ.- технол. ин -та. - Сумы: РИО объединение по печати, 1993.- С. 195.

7. Гусак А.Г. Результаты экспериментальной проверки влияния формы обтекателя за рабочим колесом на характеристики проточной части погружного моноблочного насоса с передним расположением двигателя // Тез. докл. научн.- техн. конф. преп., сотр. и студ. Сумск. физ.- технол. ин -та. - Сумы: РИО объединение по печати, 1993.- С. 205.

8. Гусак А.Г., Евтушенко А.А. О целесообразности и принципах создания типоразмерного ряда погружных моноблочных насосов со схемой проточной части "направляющий аппарат - рабочее колесо". // Гидравлические машины и гидропневмоавтоматы. Теория, расчет, конструирование. Тематический сб. научн. тр./ Отв. ред. Ковалев И.А.-К.: ИСИО, 1994.- С. 141 - 149.

9. Гусак А.Г., Дубинский В.В., Приказчик О.Н. Использование результатов расчета обтекания лопастной системы при создании новых проточных частей насосов высокой быстроходности // Тез. докл. научн.-техн. конф. преп., сотр. и студ. Сумск. гос. ун - та. - Сумы: Ризоцентр СумГУ, 1995.- С. 33.

10. Гусак А.Г., Евтушенко А.А. Исследование и разработка проточных частей погружных моноблочных насосов осевого типа / Гидро-

динамика в инженерной практике: Сб. Респ. научн.- техн. конф. // Тез. докл.- К.: КПИ, 1996.- С. 66 - 67.

11. Гусак А.Г. Оценка влияния на энергетические качества лопастной системы взаимного расположения рабочего колеса и аппарата в насосе высокой быстроходности // Труды 8 - й Международной научн.- техн. конф. "Насосы 96", т.1.- Сумы: ИПП "Мрія" ЛТД, 1996.- С. 324-333.

12. Евтушенко А.А., Гусак А.Г. Основы методики проектирования лопастной системы типа НР насоса высокой быстроходности // Труды 8 - й Международной научн.- техн. конф. "Насосы 96", т.1.- Сумы: ИПП "Мрія" ЛТД, 1996.- С. 334- 346.

14. Анотація російською мовою

Гусак Александр Григорьевич. Совершенствование проточных частей погружных моноблочных насосных агрегатов высокой быстроходности.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.04.13 - гидравлические машины и гидропневмоагрегаты, Сумский государственный университет, Сумы, 1997г.

Защищается 12 научных работ, которые содержат результаты экспериментальных и теоретических исследований проточных частей погружных моноблочных насосных агрегатов высокой быстроходности (ПМНА).

Разработана методика проектирования нового вида лопастных систем "направляющий аппарат - рабочее колесо" (НР) и проточных частей ПМНА высокой быстроходности на их основе. Созданы высокоэффективные проточные части с лопастными системами типов "направляющий аппарат - рабочее колесо - выправляющий аппарат" (НРВ) и НР. Определен параметрический ряд базовых модельных проточных частей с лопастными системами типа НР, что позволяет систематизировать работу по созданию соответствующего атласа моделей. Выданы рекомендации по созданию на основании предложенной мате-

математической модели течения в проточной части гидромашини средств для замены части физического эксперимента расчетным.

15. Анотація англійською мовою

Gusak Alexandr G. Enhancement of wetted parts of high specific-speed submersible monoblock pump units.

Thesis on obtaining the master degree of speciality 05.04.13 - hydraulic machines and hydraulic pneumatic units, Sumy State University, Sumy, 1997.

12 scientific papers, which contain results of experimental and theoretical research on the wetted parts of high specific-speed submersible monoblock pump plants (SMPP) are under defence.

The method of designing the new type of blade systems "guide vane assembly - impeller" (GI) and the wetted parts of SMPP on their basis was elaborated. A high-efficiency wetted parts with the blade systems of type "guide vane assembly - impeller - post-guide vane assembly" was created. The range of characteristics of prototype wetted parts with blade systems of GI-type was determined, which allows to systemize the work that is carried out in order to create the corresponding atlas of models.

The recommendations for creating techniques based on the suggested mathematical model of flow in the wetted part of hydraulic machines with the purpose of substituting part of the physical experiment with an analytical one were obtained.

16. Ключові слова

Занурювальний моноблочний насосний агрегат високої швидкості, протічна частина, лопатева система, напрямний апарат, робоче колесо, випрямний апарат, втулочне відношення, густина ґратки профілів.

436065

AB 37.601

Підписано до друку 24.03.97р. Формат 60 x 84 1/16

Обсяг 1.0 друк. арк. Тираж 100 екз. 3.77

Надруковано в Сумському державному університеті

м.Суми, вул. Римського-Корсакова, 2