

На правах рукопису

Твердохліб Ігор Борисович



**СТВОРЕННЯ ГІДРОТУРБІННОГО ПРИВОДА
АВТОНОМНИХ ГІДРОДИНАМІЧНИХ НАСОСНИХ УСТАНОВОК**

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 гідравлічних машин Сумського державного університету.

Науковий керівник - кандидат технічних наук, доцент
Євтушенко Анатолій Олександрович.

Офіційні опоненти - доктор технічних наук, професор
Боровський Борис Йосипович,
- кандидат технічних наук, доцент
Зайченко Євген Тимофійович.

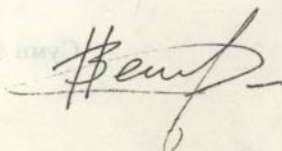
Провідна організація - акціонерне товариство "Український
нафтогазовий інститут", м.Київ.

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

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Сумського державного університету.

Автореферат розісланий "10" квітня 1997 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



Неня В.Г.

ЛНБ України ім.В.Стефаніка



00753539 (W)

1. Загальна характеристика роботи

Необхідність перекачування рідин в "складних" технологічних умовах (свердловинах, обмежених в габаритах і масі мобільних установках і таке інше) та отримання "складних" для традиційних насосних агрегатів параметрів потоку приводить до використання гідродинамічного приводу розділеного типу. В ньому робочий механізм (насос, долото і т.і.) приводиться в рух гідротурбіною і відділений від джерела гідравлічної енергії (живильного насоса) деякою відстанню, зв'язаний з ним трубопроводами з відповідною арматурою. Приводні гідротурбіни виділяються своєю здатністю працювати з високою частотою обертання, малою інерційністю, можливістю їх розташування на валу приводного механізму, надійністю та довговічністю. Вказане поряд з можливістю використання в якості енергоносія для турбіни середовища, яке перекачується, надає розділеному гідродинамічному приводу в ряді випадків перевагу над іншими, в тому числі нерозділеним гідродинамічним (гідромуфти і гідротрансформатори) та електричним приводами.

Наявні установки з гідродинамічним приводом розділеного типу (бурові установки, привод моталок прокатних станів, турбонасосні агрегати енергетичних установок, агрегати паливних систем літальних апаратів і т.і.) створювались в жорсткій прив'язці до конкретних технічних систем і узагальнюючий аналіз можливих та економічно доцільних типових схем таких установок практично не проводився. Разом з тим, ускладнення характеристик та складу гідравлічних мереж, в яких працюють гідродинамічні насосні агрегати (ГДНА), приводить до зростання техніко-економічної доцільності використання в їх складі турбонасосних агрегатів (ТНА). В цих умовах, з одного боку, актуально стає задача створення автономних (які включають в свій склад і джерело гідравлічної енергії) гідродинамічних насосних установок (АГДНУ) з ТНА в їх складі. З іншого боку, є необхідним проведення вищевказаного узагальнюючого аналізу типових схем таких установок.

Розгляд АГДНУ на рівні схем дозволяє встановити місце кожної схеми в технічній системі, визначити їх переваги і недоліки, прогнозувати створення і використання нових схемних рішень.

Незалежно від виду АГДНУ практично всі їх складові елементи, крім ТНА, можуть бути використані з числа тих, що серійно випускаються. Відповідно, ТНА створюється для кожної конкретної установки, при цьому звичайно його насосна частина розробляється або шляхом використання вже існуючих насосів, або проектуванням по подібності з моделлю. Турбінна частина проектується кожного разу заново з урахуванням заданих насосною частиною та зовнішньою системою параметрів. Таким чином, незалежно від типу АГДНУ лімітуючим ланцюгом створення установки є розробка приводної гідротурбіни з відповідними кількісними і якісними характеристиками.

Звичайно турбопривод, про який іде мова, є малогабаритною багатоступінчатою гідротурбіною, відомості про техніко-економічні характеристики і методики проектування якої в літературі є малочисельними і сповненими суперечностей. В цих умовах на перший план виходять задачі дослідження і реальної оцінки можливих техніко-економічних характеристик таких гідротурбін та розробка надійної методики їх проектування. Проведення комплексу всіх вищевказаних досліджень і стало темою даної дисертаційної роботи.

2. Актуальність і ступінь дослідженості тематики дисертації

Актуальність дисертаційної роботи обумовлена:

- низькими показниками по економічності і надійності роботи традиційних ГДНА в гідравлічних мережах зі змінною характеристикою опору та обмеженістю сфери застосування окремих ТНА гідравлічними мережами з наявним надлишком гідравлічної енергії рідини, відсутністю систематизації даних про техніко-економічні показники АГДНУ та методики визначення їх робочих характеристик;
- обмеженістю існуючих результатів досліджень робочого проце-

су малогабаритних багатоступінчатих гідротурбін для привода динамічних насосів, відсутністю методики їх проектування.

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

- традиційне проектування гідромашинних систем ведеться з використанням паспортних параметрів ГДНА в оптимальному режимі їх роботи без урахування змін характеристики опору системи в ході їх експлуатації. Результатом є значні розбіжності між максимальним паспортним та середньоексплуатаційним ККД ГДНА, а також низькі показники надійності останніх в роботі;

- прогресивним явищем стає використання ТНА в якості автоматичного слідкуючого пристрою для врахування змін в опорі системи, забезпечення її більш ефективної і надійної роботи. Існуюча практика використання ТНА в основному зорієнтована на системи, де внаслідок особливостей технологічного процесу є надлишок гідравлічної енергії перекачаного середовища, який використовується для привода ТНА;

- рекламні матеріали деяких провідних закордонних фірм містять інформацію про створення АГДНУ. У вітчизняній практиці досвід використання АГДНУ, систематизація їх типових схем з визначенням пріоритетних сфер застосування, а також методичні напрацювання по визначенню робочих характеристик АГДНУ практично відсутні;

- основні сфери ефективного застосування ТНА і АГДНУ на їх основі потребують використання в якості привода динамічних насосів малогабаритних багатоступінчатих гідротурбін. Дослідження робочого процесу таких гідромашин практично не велися, що не дає змоги достовірно оцінити рівень основних техніко-економічних показників та є причиною відсутності методики їх проектування.

3. Мета роботи та основні завдання наукового дослідження

Дослідження та розробка методики проектування гідротурбінного привода для використання у складі АГДНУ, створення АГДНУ з

ТНА в їх складі.

Для досягнення мети сформульовані задачі:

- дослідження робочого процесу малогабаритних багатоступінчатих гідротурбін з метою визначення рівня техніко-економічних показників, які можуть бути досягнуті при їх використанні в якості привода динамічних насосів;
- розробка методики проектування малогабаритних багатоступінчатих гідротурбін та розрахункове визначення робочої характеристики приводів на їх основі;
- проведення аналізу і систематизації можливих типових схем АГДНУ з ТНА в їх складі, визначення робочих параметрів АГДНУ основних типових схем і пріоритетних сфер їх застосування;
- створення ТНА і АГДНУ на основі ТНА та перевірка знайдених науково-методичних рішень за результатами натурних випробувань.

4. Теоретична та практична цінність досліджень

Теоретична цінність роботи полягає у визначенні: аналітичного способу складання балансу енергії малогабаритної багатоступінчатої осьової гідротурбіни; принципу систематизації схемних рішень по АГДНУ та методичного підходу до розрахунку їх робочих параметрів.

Практична цінність роботи:

- розроблені методики проектування малогабаритних багатоступінчатих осьових гідротурбін та розрахункового визначення робочої характеристики приводів на їх основі;
- сформульовані методичні рекомендації по розрахунку робочих параметрів АГДНУ основних типових схем, визначені пріоритетні сфери їх застосування;
- створено дослідний зразок турбонасосного агрегату ГВТ 8-40-75 для примусового підняття гарячої води із свердловин в системі теплового пункту на геотермальній енергії;
- створена дослідно-промислова партія ТНА у складі комбінованого модульного пожежного насосного агрегату НЦПМ -40/100-4/400;

7

- створена, випробувана в промислових умовах і рекомендована до серійного виробництва насосна установка УГВП-2000 з турбонасосним агрегатом ГВП 9-2000-500 у її складі для системи підтримки пластового тиску (ППТ) нафтового родовища;

- розроблені технічні проекти АГДНУ для видобутку нафти на основі турбонасосних агрегатів ГВН5-25-2000 та ЕГВН5А-25-3000.

5. Наукова новизна роботи

Наукова новизна роботи полягає в тому, що:

- вирішена задача аналітичного визначення втрат енергії від змішання потоку міжступеневої витоки з основним потоком в протічній частині малогабаритної багатоступінчатої осьової гідротурбіни;

- показана можливість і визначені межі застосування науково-методичних матеріалів теорії парових турбін для вирішення задачі проектування малогабаритної багатоступінчатої осьової гідротурбіни;

- запропонована методика експериментального визначення гідродинамічних характеристик та гідравлічних втрат енергії кругової ґратки профілів осьової гідротурбіни малого діаметру за допомогою виміральної гідродинамічної решітки;

- розроблено аналітичний спосіб визначення балансу енергії малогабаритної багатоступінчатої осьової гідротурбіни, вирішена задача оптимізації по ККД привода на її основі;

- одержані основні залежності для створення методики проектування малогабаритної багатоступінчатої осьової гідротурбіни та розрахункового визначення робочої характеристики привода на її основі;

- проведена систематизація схем АГДНУ, одержані залежності для визначення робочих параметрів АГДНУ основних типових схем.

6. Рівень реалізації та впровадження наукових розробок

Наукові розробки реалізовані при виконанні держбюджетних НДР по темам 80.13.02.93-95 д/б "Розробка типорозмірного ряду заглибних гідротурбінних насосних установок для підняття води з геотермальних свердловин" (замовник - ДКНТ України), 80.13.03.94-96 д/б

"Дослідження системних ефектів в гідродинамічних насосних установках" (замовник - Міносвіти України) та 80.13.05.94-96 д/б "Дослідження і розробка методики проектування гідротурбоприводних насосних агрегатів для видобутку нафти" (замовник - Мінмашпром України).

Результати наукових розробок впроваджені при створенні: дослідного зразка свердловинного ТНА марки ГВТ 8-40-75 для теплового пункту на геотермальній енергії (замовник - ІТТФ НАН України); дослідно-промислової партії комбінованих модульних пожежних насосних агрегатів НЦПМ-40/100-4/400 (замовник - підприємство "Укрпожсервіс" МВС України); промислової установки УГВП-2000 системи ППТ Анастасіївського нафтогазового родовища АТ "Охтирканафтогаз"; технічних проектів установок для видобутку нафти на основі ТНА марок ГВН 5-25-2000 і ЕГВН 5А-25-3000 (замовник - Держнафтогазпром України).

Матеріали роботи використані в курсі "Лопатеві гідромашини і передачі", який вивчається 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 1992 по 1996 рр. включно;

- на республіканській науково-технічній конференції "Научно-технические проблемы энергомашиностроения и пути их решения", м. С.-Петербург, 1992р.;

- на науково-практичній конференції "Проблеми та перспективи науково-технічного прогресу АТ"Укрнафта" в умовах ринку", м.Івано-Франківськ, 1995р.;

- 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 12 публікаціях, з яких: 6 - статті в тематичних збірниках наукових праць, 6 - тези доповідей на науково-технічних конференціях.

8. Обсяг та структура роботи

Дисертаційна робота складається із вступу, п'яти глав, заключення, списку використаних першоджерел із 115 найменувань та 4 додатків. Містить 233 сторінки машинописного тексту, 65 рисунків, 11 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: розв'язанню задачі аналітичного визначення втрат енергії від змішування потоків в протічній частині малогабаритної багатоступінчатої гідротурбіни; систематизації схемних рішень відносно АГДНУ і виводу залежностей для визначення робочих параметрів АГДНУ основних типових схем; визначенню можливості і меж використання матеріалів теорії парових турбін при проєктуванні малогабаритних багатоступінчатих осьових гідротурбін, розробці аналітичного способу складання балансу енергії останніх та вирішенню задачі оптимізації по ККД приводів на їх основі; створенню методики проєктування малогабаритної багатоступінчатої осьової гідротурбіни та розрахункового визначення робочої характеристики привода на її основі; розробці методики експериментального визначення за допомогою вимірювальної решітки гідродинамічних характеристик та гідравлічних втрат енергії кругової ґратки профілів осьової малогабаритної гідротурбіни;

- розробка та безпосередня участь у створенні експериментальних стендів для досліджень робочого процесу турбінних ступенів та випробувань ТНА, підготовка та проведення експериментальних досліджень: характеристик кругових ґраток профілів приводних турбін за допомо-

гою вимірювальної решітки; впливу статорної витоки на параметри потоку за напрямним апаратом турбіни; робочих характеристик приводних гідротурбін з метою перевірки розробленої методики їх проектування та методики розрахунку робочої характеристики і результатів оптимізації по ККД приводів на їх основі;

- розрахунки і розробка конструкцій промислових ТНА і АГДНУ, виконання обов'язків відповідального виконавця при їх робочому проектуванні, стендових і промислових випробуваннях;

- обробка, аналіз та узагальнення результатів досліджень.

10. Характеристика методології дослідження об'єкта

Експериментальні дослідження робочого процесу приводних гідротурбін та випробування ТНА були виконані на спеціально розроблених стендах в міжгалузевій проблемній лабораторії гідродинамічних насосних установок і приводів при кафедрі гідромашин СумДУ. Робочі характеристики АГДНУ визначались шляхом їх випробувань в промислових умовах. Методика використання вимірювальної гідродинамічної решітки в експериментальних дослідженнях даної роботи була розроблена з урахуванням методичних рекомендацій, викладених в працях кандидатів технічних наук О.І.Климова і О.І.Швіндіна.

Вибір напрямку дослідження базувався на результатах прогнозного визначення перспективних напрямків розвитку насособудування з урахуванням загальних законів розвитку технічних систем, виконаного кандидатом технічних наук А.О.Євтушенко. Теоретичною базою для розробки аналітичного способу складання балансу енергії приводної гідротурбіни та визначення її методики проектування стала теорія парових турбін і загальна механіка рідини і газу. Пошук екстремума цільової функції при розв'язанні задачі оптимізації турбінного привода по ККД проводився з використанням чисельного методу Нелдера-Міда.

11. Зміст роботи

У вступі дається стисла характеристика виконаної дисертаційної

роботи.

В першій главі розглянуто актуальність та ступінь дослідженості теми. Проаналізовані недоліки експлуатації ГДНА в складі гідравлічних мереж зі змінною характеристикою їх опору. Проведено огляд сучасної практики застосування ТНА в гідравлічних мережах. Доведена актуальність створення АГДНУ для різних умов експлуатації і технологічних процесів. Розглянуто стан розробки та застосування гідротурбін для привода динамічних насосів, показана необхідність дослідження робочого процесу і розробки методики проектування малогабаритних багатоступінчатих гідротурбін осьового типу.

В другій главі дається постановка задачі, обґрунтовується вибір об'єкта та способу проведення дослідження, описані засоби і методики його проведення.

Загальна задача дослідження - створення АГДНУ з ТНА у їх складі - розбита на наступні окремі задачі: дослідження робочого процесу малогабаритних багатоступінчатих осьових гідротурбін і визначення рівня їх техніко-економічних показників при використанні в якості привода динамічних насосів; розробка методики проектування вищевказаних гідротурбін та визначення робочої характеристики приводів на їх основі; типізація АГДНУ і визначення основних залежностей для розрахунку їх робочих параметрів.

Основним об'єктом дослідження є малогабаритна багатоступінчата гідротурбіна осьового типу. Вона розглядається як основа для створення ТНА зокрема та АГДНУ в цілому. Останні розглядаються як об'єкти загальнопромислового призначення.

Прийнятий спосіб проведення дослідження - розрахунково-теоретичний та графо-аналітичний аналіз робочого процесу приводних гідротурбін, ТНА і, в цілому, АГДНУ з експериментальною перевіркою отриманих результатів, внесенням на її основі корегуючих емпіричних поправок в розрахункові залежності.

Експериментальні дослідження виконувались на спеціально ство-

рених стендах, які експлуатувались на воді ($t=15...25^{\circ}\text{C}$) і були призначені для модельних досліджень протічної частини приводної гідротурбіни і стендових випробувань ТНА в цілому. Модельні дослідження гідротурбіни включали в себе її енергетичні випробування та визначення моментів швидкості потоку за елементами протічної частини. По спеціально розробленим методикам за допомогою вимірювальної решітки проводився вимір гідравлічних втрат енергії в круговій ґратці малогабаритних профілів та визначення втрати енергії при змішуванні загального потоку і потоку міжступеневої витоки.

Третя глава присвячена результатам дослідження балансу енергії малогабаритної багатоступінчатої гідротурбіни осьового типу. ККД багатоступінчатої гідромашини при використанні в наступній ступені енергії з вихідною швидкістю і виділенні зовнішніх об'ємних та механічних втрат енергії практично дорівнює ККД ступені. Тому поставлена задача зводиться до визначення балансу енергії ступені осьової гідротурбіни з виділенням складових втрат у відповідності до їх фізичної природи. ККД ступені є добутком гідравлічного, об'ємного і механічного його складових, як це прийнято в теорії гідромашин.

Розрахунок гідравлічного ККД має складності перш за все внаслідок малих розмірів коліс та профілів лопатей, невизначеності характеру впливу витоків на параметри ступені. Останнє для малогабаритної турбіни має велику питому вагу. При умові роздільного розгляду гідравлічних втрат енергії з'являється можливість скористатися значним обсягом теоретичного та експериментального матеріалу, що напрацьований в області парових і газових турбін, з відповідно визначеними обмеженнями стосовно малогабаритних гідротурбін. В роботі показана можливість і визначені межі застосування результатів аеродинамічних продувок ґраток профілів, приводяться результати експериментальної перевірки. Даються експериментально визначені кількісні показники впливу немодельних змін, що обумовлені малогабаритністю, в геометрії лопатей на характеристики кругових ґраток

профілів.

Втрати енергії від змішування міжступеневої виточки з загальним потоком рідини (рис. 1) мають входити до складу гідравлічних втрат. Цей висновок є однозначним по результатам проведених досліджень, не зважаючи на різні думки з цього приводу в літературі. Вказана втрата має значний вплив на параметри малогабаритної турбіни на відміну від інших типів гідромашин, де вона часто не розглядається або розраховується по визначених для конкретного типу машини емпіричним формулам, що практично не прийнятні стосовно малогабаритної осьової гідротурбіни. Останнім обумовлена необхідність розробки методики розрахунку втрат змішання.

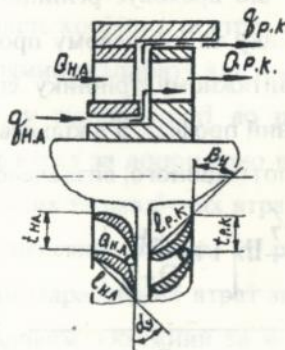


Рисунок 1 - Ступінь малогабаритної осьової гідротурбіни

В загальному випадку основні втрати енергії при змішуванні двох потоків складаються з втрат на турбулентне змішування різношвидкісних потоків, втрат на поворот і на розширення потоку. Аналітичні розрахунки такої течії характеризуються значними труднощами. В цих умовах визнано доцільним використання існуючого підходу до розв'язання подібної задачі стосовно витяжних трійників. Він базується на відповідних полуемпіричних залежностях. Для застосування цих формул потік в кільцевому просторі осьової турбіни між напрямним апаратом (НА) та робочим колесом (РК) розбивається на елементарні частини, що мають форму трійника з нормальною потоку пло-

щиною $dS = D \cdot h / (2 \sin \alpha_1^{HA}) \cdot d\varphi$. Враховуючи існуючий вираз для коефіцієнта втрат енергії в витяжному трійнику, після перетворень стосовно турбіни, одержана залежність:

$$\xi_{3M} = K \left[\left(\eta_o^{HA} + (1 - \eta_o^{HA}) \frac{\left(1 - \frac{1}{D_h}\right) \sin 2\alpha_1^{HA} \eta_o}{8\bar{V}_z \eta_o^{HA}} \right)^{-2} - 1 \right], \quad (1)$$

де D та h - середній діаметр та висота протічної частини, м; α_1^{HA} - кут виходу потоку з НА на діаметрі D ; $d\varphi$ - кут обхвату; η_o^{HA} та η_o - об'ємні ККД НА та РК відповідно; D_h - вієрність; \bar{V}_z - коефіцієнт витрати НА; K - коефіцієнт, що враховує різницю між епіорами швидкостей у витяжному трійнику та кільцевому просторі турбіни. Приймаючи до уваги, що у витяжному трійнику епіора швидкостей до змішання має логарифмічний профіль, а в кільцевому просторі турбіни закон течії є близьким до потенційного, визначено:

$$K = \frac{0.518 D h^{1/7}}{y^{8/7}} \ln \left[1 + \frac{2y}{D-h} \right], \quad (2)$$

де

$$y = \sqrt{\frac{(D-h)^2}{4} + \frac{D h}{8 \left(\frac{1}{\eta_o^{HA}} - 1 \right)^{-1} + 1}} - \frac{(D-h)}{2}$$

Одержана формула втрат змішання з урахуванням різниці в формах епіор в протічній частині турбіни та витяжному трійнику перевірялась при різних міжступневих витоках для трьох НА. Останні відрізнялися кутами виходу потоку. Результати розрахунку зіставлялися з експериментальними даними (рис.2). Похибка не перевищує 15%, що дає помилку при розрахунку напору турбіни не більше 1%.

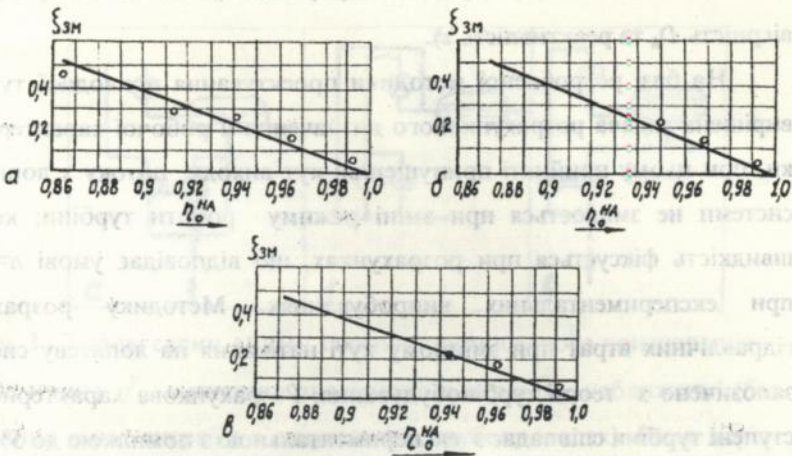


Рисунок 2 - Залежність коефіцієнта втрат змішання від об'ємного ККД напрямного апарату для трьох варіантів НА

Експериментально, у відповідності до розробленої методики визначення гідравлічних втрат за допомогою виміральної решітки, одержані значення загальних гідравлічних втрат в колівій гратці профілів при різних міжступневих витоках. Ці результати добре узгоджуються з розрахунками гідравлічних втрат згідно приведеним в роботі формулам по складовим. Об'ємний та механічний ККД ступені турбіни визначаються по відомим формулам гідромашинобудування, в об'ємному ККД враховується тільки виток повз робоче колесо турбіни.

Загальним результатом викладеного в даній главі матеріалу досліджень є забезпечення можливості визначення аналітичним способом ККД приводної гідротурбіни ТНА.

В четвертій главі описана розроблена методика проектування гідротурбінного привода динамічного насоса при використанні в цій якості малогабаритної багатоступінчатої гідротурбіни осьового типу. Згідно з методикою визначається ККД турбінного привода, який слугує цільовою функцією для проведення оптимізації привода чисельним методом Нелдера-Міда. Останній дозволяє знайти екстремум функції з

декількома змінними (коефіцієнт циркуляції \overline{V}_u , кількість ступенів Z , вісність D_h та реактивність ϵ).

На базі розробленої методики проектування приводної турбіни вирішена задача розрахункового визначення її робочої характеристики, при цьому прийняті припущення: кут виходу потоку з лопатевої системи не змінюється при зміні режиму роботи турбіни; колова швидкість фіксується при розрахунках, що відповідає умові $n=const$ при експериментальних випробуваннях. Методику розрахунку гідравлічних втрат при змінному куті натікання на лопатеву систему запозичено з теорії турбінобудування. Розрахункова характеристика ступені турбіни співпадає з експериментальною з помилкою до 5%.

В п'ятій главі наведено результати створення АГДНУ. На час постановки даної роботи аналіз і систематизація можливих схемних рішень по АГДНУ не проводились, відповідно був відсутній і спосіб визначення їх основних техніко-економічних показників в роботі. Це зумовило провести вибір об'єкта основного дослідження за результатами спеціального аналітико-розрахункового дослідження.

Результатом останнього стала можливість звести всю різноманітність АГДНУ до трьох типових схем (рис.3). Схеми I характеризується злиттям потоків рідини на виході насосної частини ТНА (рис.3а). Схеми II - розділення потоків здійснюється на вході турбінної частини ТНА (рис.3б). Схеми III - злиття потоків на вході насосної частини ТНА (рис.3в). Техніко-економічний аналіз АГДНУ вказаних основних схем проводився з використанням поняття ККД установки, який визначався по залежності:

$$\eta_{уст} = (N_{кор}/N_{жив}) \eta_{жив} = \eta_z^y \eta_{жив} \quad (3)$$

де $N_{кор}$ - корисна потужність установки; $N_{жив}$ - корисна потужність живильного насоса; η_z^y - гідравлічний ККД установки; $\eta_{жив}$ - ККД живильного насосного агрегату.

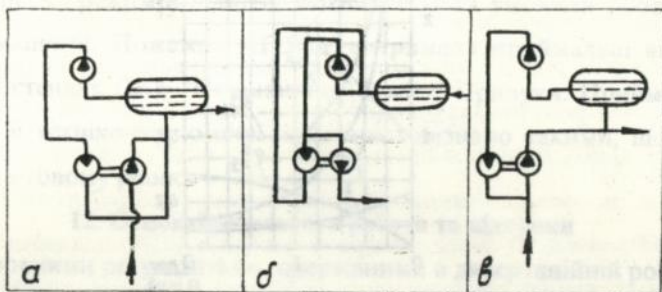


Рисунок 3 - Типові схеми АГДНУ загальнопромислового призначення.

Величина η_z^y визначена аналітично в першому наближенні (без урахування втрат енергії в з'єднувальних трубопроводах). Вона дорівнює:

$$\text{для схеми I} \quad \eta_z^y = \eta_{ТНА} \quad (4)$$

$$\text{для схеми II} \quad \eta_z^y = \frac{\eta_{ТНА} + \frac{Q_H}{Q_T}}{1 + \frac{Q_H}{Q_T}}, \quad (5)$$

$$\text{для схеми III} \quad \eta_z^y = \eta_{ТНА} - H_H/H_T, \quad (6)$$

де $\eta_{ТНА}$ - ККД турбонасосного агрегату; Q_H та H_H - подача та напір насосної частини; Q_T та H_T - витрата та напір турбінної частини ТНА.

На рис. 4 показано результати розрахунків η_z^y і відносних тисків від відносної подачі для вказаних трьох типів установок. Рис.4 ілюструє переваги і недоліки кожного типу установок (схема I - лінії 1, відповідно, II - 2 і III - 3). Перевагою АГДНУ по схемі I є незалежність ККД від подачі, що дозволяє ефективно її експлуатувати в широкому діапазоні тисків. АГДНУ по схемі II має найбільший η_z^y та корисний тиск, але невеликий діапазон по подачі рідини. АГДНУ по схемі III завжди має η_z^y нижче, ніж ККД ТНА, і є доцільною для використання тільки при високих відносних подачах і невеликих тисках. Базуючись на результатах вказаного аналізу і враховуючи першочергові запити промисловості, в роботі основна увага була приділена АГДНУ по схемі I.

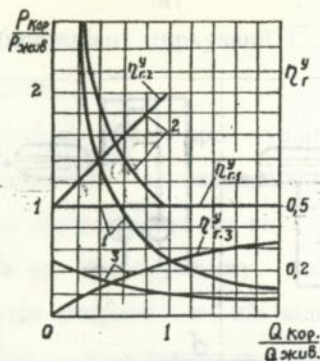


Рисунок 4 - Залежність відносного тиску та гідравлічного ККД від відносної подачі для трьох типів АГДНУ

Для АГДНУ схеми I в цілому і ТНА зокрема визначені основні положення загальної методики проектування. В роботі приділяється увага питанню стендових випробувань ТНА, приводяться розрахункові та експериментальні характеристики ТНА марки ГВТ 8-40-75 для примусового підйому геотермальних вод та ТНА марки ГВП 9-2000-500 для видобутку пластової рідини в систему ППТ нафтового родовища.

Результати створення і промислових випробувань АГДНУ з свердловинним ТНА показали, що конструктивні схеми АГДНУ і ТНА повністю відповідають запроєктованим вимогам до них, дозволяють в існуючій системі ППТ нафтогазового родовища замінити чотири заглибних електронасосних агрегати, значно зменшити екологічну напруженість регіону в зв'язку з скороченням довжини трубопроводів, які транспортують солону пластову воду. Створена установка одержала марку УГВП-2000, успішно пройшла приймальні випробування і рекомендована до серійного виробництва.

Зацікавленість промисловості обумовила проведення окремого комплексу робіт по впровадженню АГДНУ схеми II (рис.3б) в проекті модульного комбінованого пожежного насосного агрегату. Результати даної розробки в стислому вигляді викладені в дисертаційній роботі. В процесі випробувань та доводки агрегату отримані потрібні парамет-

ри для трьох режимів роботи, які диктуються умовами роботи пожежної машини. Пожежна АГДНУ витримала приймальні випробування на стендах ДКБ "Пожмашина" в місті Прилуки. Приймальною комісією її техніко-економічні показники визнано такими, що відповідають світовому рівню.

12. Основні результати роботи та підсумки

Основними результатами, одержаними в дисертаційній роботі, є:

1. Проведено інформаційно-аналітичне дослідження проблеми створення АГДНУ загальнопромислового призначення. Встановлено, що компенсуючим ланцюгом при проектуванні АГДНУ доцільно визначити ТНА, який потребує досліджень з метою розробки методики його проектування та розрахункового визначення робочої характеристики. Визначена доцільність створення привода ТНА на базі малогабаритної багатоступеневої гідротурбіни осьового типу.

2. Розроблено аналітичний спосіб визначення балансу енергій малогабаритної багатоступінчатої осьової гідротурбіни, що включає розрахунок гідравлічних втрат з застосуванням у встановлених межах розрахункових залежностей парового турбобудування, а також втрат від змішання міжступеневої витоки з основним потоком. Показано, що втрати від змішання для малогабаритних турбін співрозмірні з іншими втратами енергії в протічній частині, тому необхідне їх урахування.

3. Одержана залежність для визначення коефіцієнту втрат змішання з урахуванням епюр швидкостей в міжлопатевому просторі осьової малогабаритної гідротурбіни. Формула перевірена експериментально, отримано задовільне співпадання результатів з експериментом.

4. Розроблено методику експериментального визначення гідродинамічних характеристик і коефіцієнтів гідравлічних втрат в колівій гратці профілів, а також втрат змішання в протічній частині осьової турбіни, що дозволило перевірити наведені розрахункові залежності.

5. Розроблено та експериментально перевірено методику проектування гідротурбінного привода ТНА, яка включає процедуру оптимізації приводної турбіни по ККД, а також методику розрахункового визначення робочої характеристики привода ТНА.

6. Проведено аналіз схемних рішень по АГДНУ. Різні види АГДНУ зведено до типових схем, для яких встановлені основні параметри. Розроблено методику проектування АГДНУ по схемі зі злиттям потоків на виході насосної частини ТНА та створені АГДНУ для теплофікаційного пункту на геотермальній енергії та для системи ППТ нафтового родовища. Розроблено АГДНУ по схемі з розділенням потоків на вході турбінної частини ТНА - для модульного комбінованого пожежного насоса. Створені ТНА для цих АГДНУ, проведені стендові випробування, які підтвердили їх розрахункові характеристики.

7. Створено дослідно-промислово АГДНУ - УГВП-2000, що включає ТНА марки ГВП 9-2000-500. Установа пройшла промислові випробування на нафтовому родовищі АТ "Охтирканафтогаз", результати випробування підтвердили її роботоздатність та проектні характеристики. Установа рекомендована до серійного виробництва.

8. Результати теоретичних і експериментальних досліджень АГДНУ, ТНА та приводних малогабаритних турбін використано при виконанні держбюджетних НДР на замовлення Міністерства, ДКНТ та Мінмашпрому України, впроваджено на підприємствах: ІТТФ НАН України, АТ "Укрнафта" і АТ "Охтирканафтогаз" Держнафтогазпрому України, АТ "Укрпожсервіс" МВС України, Мелітопольському заводі "Гідромаш" Мінмашпрому України, ДВП "Варіант-Гермотехніка" та в навчальному процесі СумДУ Міністерства України.

13. Список опублікованих наукових праць

1. Евтушенко А.А., Твердохлеб И.Б. О целесообразности применения гидрофицированных погружных насосных установок в системе водоснабжения // Химическое машиностроение. Расчет, конструиро-

вание, технология: Сб. науч. трудов /Отв. ред. Хворост В.А.-К.: УМК ВО, 1992. -с.78-89.

2. Евтушенко А.А., Неня В.Г., Твердохлеб И.Б. Пути повышения надежности погружных скважинных насосных установок. //Тез. докл. научн.- техн. конф. преп., сотр. и студ. Сумск. физ.-технол. ин -та. - Сумы: РИО облуправления по печати. 1992.- с.111

3. Евтушенко А.А., Твердохлеб И.Б. Выбор гидравлической схемы и расчет основных параметров водозабора, оснащенного гидрофицированными погружными установками. // Сб.: Республ. научн.-техн. конф. "Научно-технические проблемы энергомашиностроения и пути их решения". Тезисы докладов.- С.- Петербург: С.- Петерб. гос. техн. ун - т, 1992. -с.36.

4. Твердохлеб И.Б., Смертьяк С.Ю. К вопросу о методике проектирования приводных гидротурбин скважинных турбонасосных агрегатов. // Тез. докл. научн.- техн. конф. преп., сотр. и студ. Сумск. физ.- технол. ин -та. Сумы: РИО облуправления по печати. 1993.- с.209.

5. Евтушенко А.А., Неня В.Г., Твердохлеб И.Б. Расчет гидродинамического привода в составе сложной гидросети//Гидравлические машины и гидропневоагрегаты. : теория, расчет, конструирование: Тематич. сб. науч. трудов/Под ред. И.А.Ковалева. - К.: ИСИО, 1994. - с.211-221.

6. Твердохлеб И.Б. Расчет и оптимизация параметров скважинной установки с гидродинамическим приводом погружного насоса// Тез. докл. научн.- техн. конф. преп., сотр. и студ. Сумского госуниверситета. - Сумы: РИО облуправления по печати. 1995.- с.36.

7. Евтушенко А.А., Твердохлеб И.Б. Методика расчета турбопривода скважинного насосного агрегата // Тез. докл. научн.- техн. конф. преп., сотр. и студ. Сумского госуниверситета. - Сумы: РИО облуправления по печати. 1995.- с.35.

8. Твердохлеб И.Б., Евтушенко А.А. Исследования и разработка

гидротурбинного привода для насосных агрегатов //Тез. докл. научн.-техн. конф. "Гидромеханика в инженерной практике". - Киев : КПИ, 1996. -с.65-66.

9. Твердохлеб И.Б. Оптимизация по КПД параметров приводной многоступенчатой осевой гидротурбины // Труды 8-й Международной научн.- техн. конф. "Насосы 96" - Сумы: ИПП "Мрія" ЛТД, 1996. т.1- с.127- 133.

10. Евтушенко А.А., Твердохлеб И.Б. К вопросу о влиянии межступенной утечки на КПД многоступенчатой гидромашины. // Труды 8 - й Международной научн.- техн. конф. "Насосы 96" - Сумы: ИПП "Мрія" ЛТД, 1996, т.1. - с. 134-151.

11. Евтушенко А.А., Кравцов М.И.,Твердохлеб И.Б. Скважинная гидродинамическая установка для пластовых вод.//Труды 8-й Международной научн.-техн.конф. "Насосы-96" -Сумы: ИПП "Мрія" ЛТД, 1996, т.1- с.77-86.

12. Евтушенко А.А., Анисов В.Н., Бабак В.В., Твердохлеб И.Б. Модульный комбинированный пожарный насосный агрегат // Труды 8 - й Международной научн.- техн. конф. "Насосы 96" - Сумы: ИПП "Мрія" ЛТД, 1996, т.1.- с. 217-227.

14. Анотація російською мовою

Твердохлеб Игорь Борисович. Создание гидротурбинного привода автономных гидродинамических насосных установок (рукопись).

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

Защищается 12 научных работ, которые содержат результаты экспериментальных и теоретических исследований гидротурбинного привода динамических насосов и автономных гидродинамических насосных установок (АГДНУ) с турбонасосными агрегатами (ТНА) в их составе. Приведены типовые схемы АГДНУ, показаны области их ис-

пользования, получены соотношения параметров для 3х принципиально разных схем. Доказано, что наименее исследованным элементом, входящим в состав АГДНУ, является малогабаритная приводная гидротурбина, для которой рассмотрен баланс энергии, проведен комплекс теоретических и экспериментальных исследований, создана методика проектирования и расчетного определения рабочей характеристики.

Созданы и испытаны АГДНУ с различными конструктивными схемами, разработана и рекомендована в серийное производство АГДНУ со скважинным ТНА в ее составе для оснащения систем поддержания пластового давления нефтегазовых месторождений.

15. Анотація англійською мовою

TverdokhleB Igor B. Creation of the hydraulic turbine drive for autonomous hydro-dynamic pump systems.

Thesis on obtaining the scientific degree of candidate of technical science of speciality 05.04.13 - hydraulic machines, hydraulic pneumatic units, Sumy State University, Sumy, 1997.

12 scientific papers, which contain results of experimental and theoretical research on the hydraulic turbine drive of dynamic pumps and autonomous hydro-dynamic pump systems (AHPS) with turbine pump units, are under defence. Typical schemes of AHPS are presented and fields of their application are shown, the correlations of parameters for 3 basically different schemes were obtained. It was proved, that the least researched element of the AHPS is the small-dimension driving hydraulic turbine. For this turbine, the balance of energy was examined, the complex of theoretical and experimental research was carried out and the method of design and analytical determination of its characteristic curves was created.

The AHPS with different constructive schemes were created, the AHPS with the downhole turbine pump unit for installation in stratum supporting pressure system in the oilfields was developed and recommended for serial production.

435993

Автономна гідродинамічна насосна установка, турбонасосний агрегат, малогабаритна багатоступінчата осьова гідротурбіна, ступінь, напрямний апарат, робоче колесо.

Підписано до друку 24.03.97_p Формат 60 x 84 1/16

Обсяг 1.0 друк. арк. Тираж 100 екз. 3. N 76

Надруковано в Сумському державному університеті
м.Суми, вул. Римського-Корсакова, 2