

СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

**Яхненко Сергій Михайлович**

УДК 621.65

**ГІДРОДИНАМІЧНІ АСПЕКТИ БЛОЧНО-МОДУЛЬНОГО  
КОНСТРУЮВАННЯ ДИНАМІЧНИХ НАСОСІВ**

05.05.17 – Гідравлічні машини і гідропневмоагрегати

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Суми – 2003

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Сумському державному університеті  
Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент  
Євтушенко Анатолій Олександрович,  
Сумський державний університет,  
завідувач кафедри  
прикладної гідроаеромеханіки.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор  
Фінкельштейн Зельман Лазаревич,  
Донбаський гірнично-металургійний інститут,  
професор кафедри гірничої енергомеханіки  
та обладнання, м. Алчевськ

кандидат технічних наук,  
Дранковський Віктор Едуардович,  
Національний технічний університет  
"Харківський політехнічний інститут",  
доцент кафедри гідравлічних машин

Провідна організація:- Інститут проблем машинобудування ім. А.М.Підгорного  
НАН України, м. Харків

Захист дисертації відбудеться 27 листопада 2003 р. о 14.00 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 в бібліотеці Сумського державного університету.

Автореферат розісланий " 24 " жовтня 2003 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради

Савченко Є.М.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Перекачування рідинно-твердих сумішей (РТС) динамічними насосними агрегатами є об'єктивно існуючою технологічною складовою різних галузей промисловості та сільського господарства. З одного боку, це наслідок недостатнього очищення середовищ, які підлягають перекачуванню. З іншого – об'єктивна необхідність перекачувати саме гідросуміші (каналізаційні стоки у житлово-комунальному господарстві, пульпові розчини гірничо-збагачувальних підприємств та багато іншого).

Робочий процес насосів гідродинамічного принципу дії недостатньо вивчений навіть відносно роботи на чистих рідинах, тим більше є багато невідомих складових у роботі вказаного насосного обладнання на гідросумішах. В цьому плані окремої уваги потребує аналіз поняття якості роботи насосів на гідросумішах в цілому і на РТС, зокрема. При перекачуванні РТС сумарні техніко-економічні показники якості роботи насосного обладнання є більш прийнятними не тільки і не скільки по відношенню до звичного коефіцієнта корисної дії (ККД) при роботі насоса на чистій рідині. Сьогодні більшої уваги потребують інші показники, в тому числі, властивість „незабивання” проточної частини (ПЧ) насосу при перекачуванні ним РТС. Поняття „незабивання” до цього часу існувало тільки як якісне, без наявності відповідних кількісних його показників. Останнє не дозволяє формулювати коректні в математичному плані оптимізаційні задачі вибору або проектування насосного обладнання для перекачування РТС різних за складом та властивостями.

Ще однією проблемою є необхідність зниження собівартості виготовлення насосного обладнання. Це питання сьогодні особливо актуальне для українських насособудівників. В існуючих умовах господарювання, при різкому обмеженні ринків збуту, створення великої номенклатури вузькоспеціалізованого насосного обладнання є економічно недоцільним. Загальна теорія розвитку технічних систем дає відповідь відносно шляхів виходу з цього положення – перехід до блочно-модульного конструювання. В нашому випадку це створення багатофункціональних, по складу і властивостям середовищ, які підлягають перекачуванню, насосних агрегатів гідродинамічного принципу дії у блочно-модульному виконанні. Зокрема, такий шлях пройшли фахівці в області гідромашин об'ємного принципу дії і результати їх роботи є окремим вагомим свідомством його перспективності. В цілому, це значна проблема, яка потребує спільних зусиль фахівців різних спеціальностей. Перекачування РТС є однією із складових цієї науково-технічної проблеми.

Підсумовуючи, можна вважати, що задача науково-методичного забезпечення розробки або (та) вибору динамічних насосних агрегатів блочно-модульного виконання, в тому числі, призначених для роботи на РТС, є актуальною, її вирішення доцільним і своєчасним.

Зв'язок роботи з науковими програмами. Дисертаційна робота виконувалась згідно з планом науково-дослідних робіт (НДР) Сумського державного університету (СумДУ). Основні результати дослідження отримані в рамках держбюджетних НДР по темам (замовник – Міністерство освіти і науки України): 80.13.03.94-96 д/б „Дослідження системних ефектів у гідродинамічних насосних установках” (номер державної реєстрації 0195U000361), 80.13.06.97-99 д/б „Дослідження робочого процесу свердловинних турбонасосних агрегатів на газонасичених та високов'язких нафтах” (0197U016595), 80.01.04.00-02 д/б „Дослідження нетрадиційних турбомашин та систем для вирішення енергетичних та екологічних проблем” (0100U03214). Роль автора в цих НДР полягала у приведенні експериментальних та теоретичних досліджень, пов'язаних з особливостями перекачування гідродинамічними насосними агрегатами гідросумішей з твердими домішками. По темі 80.13.03.94-96 д/б автор був відповідальним виконавцем.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є визначення і вивчення гідродинамічних аспектів конструювання насосного обладнання гідродинамічного принципу дії для перекачування різних за властивостями та складом рідинних середовищ та розробка блочно-модульних конструкцій вказаних насосних агрегатів, що направлено на забезпечення їх працездатності в роботі та зниження собівартості виготовлення даного обладнання.

Для досягнення поставленої мети сформульовані наступні задачі:

- визначати можливості використання блочно-модульного підходу до проектування консольних насосів гідродинамічного принципу дії, призначених для перекачування рідинних середовищ, різних за складом і властивостями;
- розглянути можливі шляхи розширення діапазону робочих параметрів, який з прийнятною економічністю може бути забезпечений насосами з робочим колесом вільновихорового типу;
- розглянути можливі шляхи розширення діапазону робочих параметрів, який з прийнятним рівнем незабивання протічної частини, при перекачуванні РТС, може бути забезпечений насосами з робочим колесом відцентрового типу;
- розробити пропозиції відносно створення типорозмірних рядів консольних насосів блочно-модульного виконання, багатофункціональних по складу і властивостям середовищ, які підлягають перекачуванню.

Об'єкт дослідження – робочий процес гідродинамічних насосних агрегатів.

Предмет дослідження – робочий процес відцентрових та вільновихрових насосів на однорідному середовищі та РТС, вплив на нього особливостей їх конструктивного виконання.

Методи дослідження. Задачі дослідження вирішувались шляхом використання розрахунково-аналітичного методу та методу фізичного моделювання на стенді, випробувань дослідно-промислових зразків насосного обладнання.

Розрахунково-аналітична частина базувалась на даних сучасних теорій: теорії технічних систем, механіки рідини та газу, теорії турбомашин. В силу складності та багатоплановості предмету дослідження використовувались, в основному, емпіричні залежності і наближені формули.

Фізичний експеримент включав в себе: візуалізацію течії при роботі вільновихрового насосу на РТС та енергетичні випробування останнього на воді, енергетичні випробування відцентрового насосу блочно-модульного виконання на воді, промислові випробування насосів гідродинамічного принципу дії у блочно-модульному виконанні.

Наукова новизна отриманих результатів:

- проведена класифікація гідросумішей, що перекачуються динамічними насосами, та визначені економічно доцільні взаємозв'язки між складом гідросумішей і конструктивними елементами насосів;

- встановлено кількісні показники змін енергетичних параметрів вільновихрового насосу при немодельних змінах його проточної частини;

- виявлена можливість появи явища “забивання” проточної частини вільновихрового насосу типу “Туго” та обґрунтовано кількісний критерій оцінки можливості його появи;

- встановлено кількісні показники змін енергетичних параметрів відцентрового насосу при зменшенні числа лопатей його робочого колеса;

- досліджені гідродинамічні особливості робочого процесу відцентрового насосу з однолопатевим робочим колесом та вдосконаленою конструкцією його пазух відносно забезпечення їх незабивання.

Практичне значення отриманих результатів:

- отримані вихідні дані для розробки програми ведення оптимізаційних техніко-економічних розрахунків вибору модульних блоків насосу гідродинамічного принципу дії в залежності від складу гідросуміші, які підлягає перекачуванню;

- надані методичні рекомендації щодо конструктивних засобів розширення області параметрів, в якій економічно доцільним є застосування вільновихрових насосів;

- розроблена методика проектування відцентрового насосу з однолопатевим робочим колесом, в тому числі знайдені конструктивні рішення відносно геометрії пазух колеса, які забезпечують їх незабивання при перекачуванні гідросумішей;

- створено динамічні насосні агрегати у блочно-модульному виконанні для потреб нафтогазового комплексу та житлово-комунального господарства, міжгалузевого призначення для перекачування стічно-масних гідросумішей;

- розроблені пропозиції відносно створення нових типорозмірних рядів консольних насосів блочно-модульного виконання, багатофункціональних по складу і властивостями середовищ, які підлягають перекачуванню.

Результати виконаного дослідження впровадженні Науково-дослідним інститутом атомного та енергетичного насособудування (ВНДІАЕН), Сумським заводом „Насосенергомаш”, Мелітопольським заводом „Гідромаш”, Охтирським НГВУ ВАТ „Укрнафта” та використовуються у навчальному процесі Сумським державним університетом.

Особистий внесок здобувача. Основні результати дисертаційної роботи автором отримані самостійно. У публікаціях, які відбивають результати роботи над дисертацією і написані у співавторстві (див. список основних публікацій), автору належить: [1] – експериментальні дані та фізичне обґрунтування формулювань основних положень методики проектування проточної частини відцентрового насосу з однолопатеvim робочим колесом; [2] – експериментальне виявлення фізичного явища „забивання” проточної частини вільновихорового насосу типу „Туго” та пропозиції щодо обґрунтування кількісного критерію оцінки можливості його появи; [3] – весь матеріал за виключенням врахування властивостей газорідних сумішей при побудові полів  $Q - H$  в проекті створення багатофункціональних консольних насосних агрегатів блочно-модульного виконання; [5] – отримання та аналіз експериментальних даних стосовно кількісних показників змін енергетичних параметрів вільновихорового насосу при немодельних змінах його проточної частини і роботі на воді; [6] – визначення економічно доцільного діапазону параметрів по швидкохідності відцентрового насосу при зменшенні числа лопатей його робочого колеса до однолопатевих включно та пропозиції відносно доцільних для проведення випробувань на газорідних сумішах однолопатевих робочих коліс різних конструктивних параметрів, включаючи конструкції їх пазух; [7, 8] – отримання та обробка експериментальних даних стосовно тем, які висвітлюються у вказаних роботах. У авторських свідоцтвах на винаходи [12-19] внесок здобувача визначений у встановленому порядку. У роботі [20] використані отримані здобувачем експериментальні дані по робочим характеристикам вільновихоровий насосів типу „Туго” з класичним конструктивним виконанням їх проточної частини, а в роботі [21] – обґрунтування доцільності створення консольних насосів блочно-модульного виконання та експериментальні дані по робочим характеристикам насосів, робочі колеса яких мають мале число лопатей.

Роботи [4, 9, 10, 11] написані автором самостійно. В дисертації постановку задачі, аналіз і узагальнення отриманих результатів проведено разом з науковим керівником.

Апробація роботи. Основні положення дисертації доповідались та обговорювались на Всесоюзній нараді „Повышение эффективности и надежности машин и аппаратов основной химии” (м.Суми, 1986); на Міжнародних науково-технічних конференціях „Гидродинамика, гидромашинны, гидропривод и гидропневмоавтоматика” (м.Москва, 1996) и „Насосы - 96” (м.Суми, 1996); на I-V и VII

Українських науково-технічних конференціях „Гідроаеромеханіка в інженерній практиці” (м.Київ, 1996, 1998, 2000, 2002; м.Черкаси, 1997; м.Суми, 1999); на науково-технічних конференціях викладачів, співробітників, аспірантів та студентів СумДУ (1991–1993, 1995–2000, 2002 рр.).

Публікації. За матеріалами роботи опубліковано 11 статей, із яких 6 у фахових виданнях ВАК України, а також тези 20 доповідей на науково-технічних конференціях та отримано 8 авторських свідоцтв на винаходи.

Структура та обсяг дисертаційної роботи. Робота складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних літературних джерел та додатків. Ілюстрації включають 52 рисунки на 28 окремих сторінках. В роботі наведені 11 таблиць, із яких 3 розміщені на 3 окремих сторінках. Сім додатків складають 14 сторінок. Загальний обсяг дисертації 210 сторінок.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано доцільність створення багатофункціонального насосного обладнання з використанням блочно-модульного принципу конструювання на прикладі консольних одноступеневих горизонтальних насосів. Наведено загальну характеристику дисертації.

У першому розділі викладені результати огляду літератури, присвяченому питанню дослідження і розробки науково-методичних основ блочно-модульного принципу конструювання динамічних насосів. Констатується, що в технологічних системах з перекачуванням різноманітних гідросумішей (які містять різні тверді, волокнисті включення, а також продукти, що легко пошкоджуються), застосовуються відцентрові насоси з великими прохідними перерізами проточних частин та робочими колесами з малим числом лопатей ( $z = 1 \dots 3$ ). Для перекачування гідросумішей і газонасичених суспензій (вміст газу 10...40 %) поряд з відцентровими насосами застосовуються вільновихорові насоси (ВВН) різних конструктивних виконань. При цьому перехід від відцентрових насосів до вільновихорових здійснюється простою заміною робочих коліс. Основний недолік ВВН – більш низьке абсолютне значення ККД у порівнянні із традиційними консольними насосами.

Відмічається, що найбільш повно і всебічно вивченим є питання розрахунку і конструювання робочих коліс (РК) для динамічних насосів з нормальною лопатевою системою відцентрового типу. Питання розрахунку і проектування РК з малим числом лопатей ( $z = 2 \dots 4$ ) у вітчизняній літературі мало досліджене. Питання науково-методичного забезпечення розрахунку однолопатевого робочих коліс для вітчизняного насособудування є новим і не вивченим.

Усі відомі результати експериментальних досліджень спрямовані на підвищення абсолютної величини ККД вільновихорового насоса типу “Туго”. Робочий процес ВВН других конструктивних схем, зокрема “Seka”, залишився практично не вивченим.

Встановлено, що вид і властивості середовищ, які перекачуються, суттєво впливають на пріоритетність експлуатаційних показників якості насосного обладнання. На перший план виходять показники, що характеризують незабивання проточної частини, граничний вміст газу в середовищі, і, тим самим, зміщують показник власне економічності на другий, а інколи й на третій план. Це, в свою чергу, потребує проведення градації застосування РК різних конструктивних виконань за видами середовищ, які перекачуються. Для реалізації цього необхідні науково-дослідні і експериментальні дані, які б дали змогу зіпівставити різні типи робочих коліс і проточних частин на їх основі по напірності і економічності.

Реалізація сучасної концепції розвитку насособудування в Україні потребує перегляду існуючих конструктивних і технологічних рішень по багатьом видам насосного обладнання, що випускається. В тому числі це стосується динамічних насосів, які перекачують різноманітні гідросуміші. У зв'язку з цим вдосконалення методики проектування відцентрових РК, які мають мале число лопатей, створення науково-методичного забезпечення для проектування однолопатевого робочого коліс відцентрових насосів, вдосконалення конструктивного виконання ПЧ вільновихорових насосів, є сьогодні актуальною задачею.

У другому розділі визначені об'єкт, предмет, мета проведення дослідження та задачі, які вирішувались для її досягнення. Описані методи та засоби проведення дослідження.

Експериментальна частина дослідження проводилась на спеціально створеному стенді кафедри прикладної гідроаеромеханіки СумДУ. Експериментальний насос був виконаний по консольній схемі компонування з осьовим підводом рідини. Базовим вузлом насоса був уніфікований опорний кронштейн, що дозволяло монтувати на ньому різні конструктивні схеми відводів (кільцеві з тангенціальним та спіральні з криволінійними вихідними патрубками). У поєднанні зі змінними модельними робочими колесами різних типів така конструкція дозволяла отримувати ПЧ насосів різних конструктивних виконань, у тому числі і вільновихоровий варіант. Конструкція стенда давала можливість отримувати зовнішні характеристики (напірну, енергетичну) і проводити візуалізацію течії. Методика отримання напірної і енергетичної характеристик вільновихорових насосів аналогічна методиці, що застосовується при випробуваннях відцентрових насосів. Усі прилади, які використовувались при випробуваннях, у встановленому порядку пройшли державну повірку. Проведені розрахунки похибок отриманих результатів випробувань свідчать, що контрольно-вимірювальні засоби і методика випробувань забезпечували необхідну точність проведення експериментів.

У третьому розділі наведені результати розрахунково-аналітичного та експериментального дослідження гідродинамічних аспектів блочно-модульного конструювання динамічних насосів, в цілому, і робочого процесу відцентрових та вільновихорових насосів, зокрема.

Встановлено, що зміна місця розташування робочого колеса ВН відносно вільної камери при уніфікованому відводі дозволяє отримати проточні частини (перехідна схема ВНДГідромаш,



схема “Seka”), які мають інші функціональні можливості, ніж вихідна проточна частина (схема “Turo”). ВВН, що виконані по конструктивній схемі “Seka”, є оптимальними по уніфікації з відцентровим варіантом динамічного насоса, але мають обмежені функціональні можливості по перекачуванню гідросумішей з твердими включеннями великого розміру.

Експериментально підтверджено вплив кута виходу лопаті  $\beta_{2,l}$  (рис.1) робочих коліс ВВН на основні енергетичні параметри насоса. В роботі кут  $\beta_{2,l}$  пов’язаний з відносним діаметром допоміжного кола  $\bar{D}_{oon} = \frac{d_1 - \delta}{D_2}$ , де  $d_1$  - діаметр втулки РК на вході,  $\delta$  - товщина лопаті,  $D_2$  - діаметр РК на виході. Отримана функціональна залежність  $\eta_{max} = f(\bar{D}_{oon})$  має явно виражений оптимум значення  $\bar{D}_{oon}$ , який відповідає максимальній величині ККД (рис.2). Розміщення лопатей робочого колеса відносно осі обертання є оптимальним у тому випадку, коли забезпечується відношення  $\bar{D}_{oon} = 0,2 \dots 0,3$ , що відповідає значенню кута виходу  $\beta_{2,l} = 72^\circ \dots 80^\circ$ . Відношення  $\bar{D}_{oon} = 0,25$  відповідає максимальному значенню ККД насоса. Даний результат дослідження захищений авторським свідоцтвом.

Проведено дослідження впливу відносної ширини лопаті  $\bar{b}_2 = b_2^*/D_2$  вільновихорового насоса по схемі “Seka” на основні параметри насоса ( $b_2^* \leq b_2$  - варіативний параметр за рахунок торцевих підрізків лопатей РК) (рис.3). Дослідження проводились у спіральному відводі з паралельними стінками. Аналіз результатів дослідження показав, що зі зменшенням  $\bar{b}_2$  спостерігається безперервне падіння напору і ККД насоса. Значення оптимальної подачі  $Q_{opt}$  насоса, що відповідає максимальному значенню ККД при заданій відносній ширині  $\bar{b}_2$ , залишається постійним до значення  $\bar{b}_2 = 0,138$ , а після цього має місце різке падіння. Зміну напору при зменшенні ширини лопаті  $b_2$  можна визначити по залежності

$$H' = H \left( \frac{b_2^*}{b_2} \right)^{1/3}. \quad (1)$$

Зниження напору і, як наслідок, ККД насоса, пояснюється тим, що при зменшенні  $\bar{b}_2$  відбувається збільшення переднього торцевого зазору, а це зумовлює зміну схеми течії рідини у робочому колесі. При малих торцевих зазорах (ширина лопаті  $b_2^*$  приблизно дорівнює ширині вільної камери) робочий процес насоса протікає адекватно робочому процесу, що має місце у насосі з напіввідкритим відцентровим робочим колесом. Зі збільшенням торцевого зазору відбувається перебудова характеру течії у ПЧ насоса.

В останньому випадку рідина на виході із РК поділяється на два потоки: основний потік протікання (який і визначає подачу насоса) та циркуляційний, який по своїй суті характеризує об’ємні

витрати і виходить на периферії колеса (на відміну від основного потоку протікання) не по ширині лопаті  $b_2$ , а по її довжині. В свою чергу, циркуляційний потік можна поділити на дві складові, які з'являються при досягненні циркуляційним потоком передньої стінки корпусу. Досягнувши передньої стінки насоса меридіональний потік роздвоюється, утворюючи власне циркуляційний потік  $Q_{ц}$  і допоміжний потік протікання  $q_{пр}$ . Циркуляційний потік  $Q_{ц}$  протікає вздовж передньої стінки корпусу і повертається на вхід у робоче колесо, а допоміжний потік протікання  $q_{пр}$  разом із основним потоком протікання  $Q_{пр}$  прямує у нагнітальний патрубков. До значення  $\bar{b}_2 = 0,138$  допоміжний потік протікання  $q_{пр}$  ніби компенсує зменшення ширини лопаті  $b_2$ , змішуючись з основним потоком протікання  $Q_{пр}$ . Схема картини течії показана на рис.4. Подальше зменшення ширини лопаті веде до збільшення складової циркуляційного потоку, що і зумовлює різке падіння подачі насоса, а, відповідно, і ККД. Встановлено, що зміна ширини лопаті  $\bar{b}_2$  робочого колеса вільновихорового насоса типу “Seka” не має явно вираженого оптимуму по значенню ККД. Граничним оптимальним значенням величини  $\bar{b}_2$  можна вважати  $\bar{b}_2 \geq 0,14$ .

Виявлений і захищений авторським свідоцтвом спосіб зміни характеристик ВВН типу “Seka” шляхом кутового підрізання лопатей робочого колеса, починаючи від радіусу центра циркуляції  $R_0$

$$\left( R_0 = \sqrt{\frac{r_1^2 + R_2^2}{2}} \right) \text{ до радіусу виходу колеса } R_2 \text{ (рис. 5).}$$

Вплив кутового підрізання лопатей на параметри вільновихорового насоса показано на рис. 6. Даний спосіб підрізання лопатей може ефективно застосовуватись до величини відношення

$$\left( \frac{b_2^*}{b_2} \right) = 0,8.$$

Уточнені формули перерахунку характеристик насосів вільновихорового типу при прямому підрізанні по зовнішньому діаметру  $D_2$ . Визначені

межі їх застосування для ВВН конструктивних схем “Seka”, “Turo” і схеми ВВДГідромаш. Так, для схем “Turo” і ВВДГідромаш при підрізанні робочого колеса на величину  $\frac{D'_2}{D_2} \leq 0,95$  рекомендується вести розрахунки по залежностям:

$$\frac{Q'}{Q} = \left( \frac{D'_2}{D_2} \right)^{1,25}, \quad \frac{H'}{H} = \left( \frac{D'_2}{D_2} \right)^{1,5} \quad (2), (3)$$

Для цих же конструктивних виконань, але при збільшенні глибини підрізання  $\frac{D'_2}{D_2} = 0,95 \dots 0,8$  для перерахунку характеристик запропоновані наступні залежності:

$$\frac{Q'}{Q} = \left( \frac{D'_2}{D_2} \right)^{1,5}, \quad \frac{H'}{H} = \left( \frac{D'_2}{D_2} \right)^2 \quad (4), (5)$$

Залежність (5) рекомендується також для перерахунку напору для вільновихорових насосів типу “Seka” в усьому діапазоні зміни підрізання від  $\frac{D'_2}{D_2} = 1$  до  $\frac{D'_2}{D_2} = 0,84$ .

Зміна подачі для вільновихоркових насосів типу “Seka” при підрізанні робочого колеса до 10 % визначається за залежністю

$$\frac{Q'}{Q} = \frac{D_2'}{D_2}, \quad (6)$$

а при підрізанні більше 10 % – по залежності (2). Всі запропоновані залежності (2-6) дозволяють проводити перерахунок характеристик вільновихоркових насосів розглянутих конструктивних схем при зменшенні  $D_2$  на 15-20 %.

Експериментально підтверджено існування для робочих коліс ВВН різних конструктивних схем оптимального співвідношення величини діаметра вхідного патрубку  $\bar{d}_0 = d_0/D_2$  і початкового діаметра розташування лопатей  $\bar{d}_1 = d_1/D_2$ . Для отримання максимального ККД насоса повинно виконуватися співвідношення  $\bar{d}_0 = \bar{d}_1$ .

Виявлена наявність та запропонована фізична модель процесу забивання вихідного патрубка вільновихоркового насосу типу “Turo”. Виділяємо три фази процесу забивання вихідного патрубка (рис. 7). На першій фазі (рис. 7,а) самими дрібними частинками заповнюється вихрова зона, що утворюється стисненим перерізом або стінкою. На другій фазі (рис. 7,б) відкладення твердих частинок утворюються біля вхідної частини стисненого перерізу. На третій фазі (рис. 7,в) відбувається забивання частинками самого великого розміру, а дрібні частинки, як у порах фільтру, затримуються між великими. Звичайно така схема є достатньо умовною, ідеалізованою. Дійсний процес носить більш складний характер, але якісна картина забивання перерізу патрубка на наш погляд має саме такий характер.

Отримано критерій незабивання вихідного патрубка вільновихоркового насосу типу “Turo”

$$N_{нез} = \frac{\rho Q^2}{2d^4(1-\varepsilon)^2[\tau]}, \quad (8)$$

де  $\rho$  – густина гідросуміші;  $Q$  – подача насоса;  $d$  – діаметр вихідного патрубка;  $\varepsilon$  – коефіцієнт стиснення потоку;  $[\tau]$  – допустимі дотичні напруження, що виникають при зрушенні з місця відкладень твердих частинок відносно стінок патрубка. Вказаний коефіцієнт (8) характеризує відношення сил гідродинамічного тиску до сил зчеплення відкладень і стінки і, на наш погляд, відповідає вимогам до критерію подібності. Очевидно, що при  $N_{нез} > 1$  забивання ніколи не буде, при  $N_{нез} < 1$  – забивання має місце. У всякому випадку величина  $N_{нез}$  може бути кількісним показником якісного поняття “незабивання” ПЧ насосів гідродинамічного принципу дії взагалі, якщо її визначення буде проводитись для самого вузького перерізу ПЧ з відповідним визначенням геометричного параметру  $d$ .

Експериментально підтверджена можливість застосування блочно-модульного принципу конструювання динамічних насосів з розбиттям на блоки: уніфікований корпус – робоче колесо –

опорна стійка. Застосування робочих коліс різної конструкції в уніфікованих відводах з використанням уніфікованих опорних стійок дозволяє отримати проточні частини насосів, що мають різні функціональні можливості.

Експериментально доведено, що зменшення числа лопатей у РК знижує економічність і напірність відцентрового насоса (рис. 8). Для відцентрового робочого колеса з числом лопатей  $z = 1 \dots 3$  можна вважати, що зменшення числа лопатей на одну знижує ККД в середньому на 5 %. Перехід від трьохлопатевого відцентрового робочого колеса до однолопатевого знижує його напірність приблизно у два рази. Оптимальна подача, при зміні тільки числа лопатей, залишається практично постійною при зміні коефіцієнта швидкохідності  $n_s$  у сторону більших значень. Збільшення кута виходу лопаті  $\beta_2$  в межах  $22^\circ \dots 40^\circ$  у однолопатевого робочого колеса приводить до росту напору, що розвивається цим колесом, при постійному значенні оптимальної подачі і ККД (рис. 9).

Для насосів з однолопатевою робочим колесом виявлені ступінь і характер впливу конструктивних особливостей пазух (передньої, задньої) РК на характеристику насоса. Пропонується конструктивне виконання вказаних пазух РК, яке забезпечує відсутність їх забивання при перекачуванні РТС та розвантаження ротора насосу від осьової сили. Результати проведеного дослідження показали, що перенесення підходів до складання балансу енергії для проточної частини з типовими відцентровими робочими колесами на випадок виконання пазух однолопатевої робочих коліс вказаної вище конструктивної схеми не правомірний. Вказаному висновку дається фізичне пояснення, яке перевірено експериментально.

Встановлено рівень енергетичної досконалості однолопатевого відцентрового робочого колеса. В діапазоні  $n_s = 160 \dots 190$  рівень гідравлічного ККД розглянутих коліс складає  $\eta_z = 0,8$ .

У четвертому розділі наведені методичні рекомендації по вибору конструкції робочого колеса насосу гідродинамічного принципу дії залежно від складу середовища, яке перекачується. Зокрема наводиться розроблена методика проектування проточної частини насоса з однолопатевою робочим колесом.

Дано опис створених насосних агрегатів блочно-модульного виконання та наведені пропозиції відносно напрямків використання цих підходів у насособудуванні.

У рамках реалізації сучасної концепції розвитку насособудівної галузі України:

- розроблений і рекомендований до серійного виробництва насосний агрегат блочно-модульного виконання ЦС 63/14 для системи кульового очищення трубок конденсаторів парових турбін;

- створені і серійно випускаються насосні агрегати блочно-модульного виконання серії СМО 65-200, СМО 65-250, СМС 65-200, СМС 65-250 (разом із ВВДІАЕН (м. Суми) і заводом "Верікон" (м. Київ));

- проведена модернізація насосного агрегату АДП 150-250-400, який отримав блочно-модульне виконання на замовлення Охтирського НГВУ ВАТ “Укрнафта” (змінні робочі колеса відцентрового і вільновихорового типу);
- розроблена методика проектування динамічних насосів з однолопатеvim робочим колесом, яка передана заводу “Насосенергомаш” (м. Суми) для використання при розробці нового проекту багатофункціональних насосів блочно-модульного виконання;
- запропонований параметричний ряд консольних насосів блочно-модульного виконання для перекачування двохфазних середовищ, у складі яких можуть використовуватися робочі колеса різної конструкції.

## ВИСНОВКИ

У дисертації наведені результати визначення і вивчення гідродинамічних аспектів конструктивного виконання насосного обладнання гідродинамічного принципу дії для перекачування гідросумішей з твердою складовою та розробки блочно-модульних конструкцій вказаних насосних агрегатів. Вирішення даної задачі спрямоване на забезпечення працездатності гідравлічних мереж з насосним обладнанням даного типу та здешевлення останнього.

За результатами дослідження зроблені висновки:

– виконано огляд інформаційних джерел, який показав, що тема роботи є актуальною. На сьогодні задача перекачування гідросумішей вирішується або використанням типових насосних агрегатів, що робить їх малопрацездатними, або насосних агрегатів спеціального виконання, які економічно не вигідні у вартісному відношенні. Доцільним є перехід до блочно-модульних конструкцій насосних агрегатів гідродинамічного принципу дії;

– досліджена можливість підвищення працездатності відцентрового насоса на рідинно-твердих сумішах шляхом спрощенням механічної конструкції його проточної частини, зокрема, переходом до використання робочих коліс з малим числом лопатей, включаючи однолопатеve;

– досліджена можливість розширення робочого діапазону параметрів вільновихрового насоса типу „Туго” шляхом внесення немодельних змін в геометрію його проточної частини;

– виявлена можливість появи явища “забивання” проточної частини вільновихрового насоса типу „Туго” при перекачуванні рідинно-твердих сумішей та обґрунтовано, в залежності від складу останніх, кількісний критерій оцінки можливості його появи;

– враховано, що в техніко-економічному відношенні доцільним є перехід до блочно-модульного виконання насосних агрегатів гідродинамічного принципу дії в залежності від складу та властивостей гідросумішей, які підлягають перекачуванню;

– проведено класифікацію гідросумішей, що перекачуються насосами гідродинамічного принципу дії та проаналізовані взаємозв'язки між складом гідросумішей і конструктивним виконанням вказаних насосів;

– запропоновані конструкції насосних агрегатів у блочно-модульному виконання для різних галузей промисловості та сільського господарства, в яких враховується склад гідросуміші, що підлягає перекачуванню, шляхом використання робочих коліс насосу різного конструктивного виконання;

– результати виконаного дослідження впроваджені на промислових підприємствах України (ВНДІАЕН (м.Суми), Сумський завод „Насосенергомаш”, Охтирське НГВУ ВАТ „Укрнафта”) та у навчальному процесі (СумДУ).

### ОСНОВНІ ПУБЛІКАЦІЇ ПО ТЕМІ ДИСЕРТЦІЇ

1. Евтушенко А.А., Яхненко С.М. Область применения и основные положения методики проектирования проточной части динамических насосов с однолопастным рабочим колесом / Вісник Сумського державного університету. – Суми, 1998. - №2(10). – С.75-81.

2. Евтушенко А.А., Ткачук Ю.Я., Яхненко С.М. К вопросу о теоретическом обосновании процесса забивания проточной части динамических насосов / Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье: Сб. научных трудов ХГПУ. – Вып.6. – Ч.2. – Харьков: ХГПУ, 1998. – С.397-404.

3. Сапожников С.В., Яхненко С.М. Научно-методическое обеспечение проекта создания многофункциональных консольных насосов блочно-модульного исполнения / Вестник НТУУ “КПИ”: Машиностроение. – Киев, 1999. - Вып.35. - С.246-256.

4. Яхненко С.М. Конструктивные особенности пазух рабочего колеса и их влияние на характеристику насоса / Вестник НТУУ “КПИ”: Машиностроение. – Киев, 1999. - Вып.36. - С.523-527.

5. Сапожников С.В., Соляник В.А., Яхненко С.М. Влияние немодельных изменений геометрии проточной части свободновихревого насоса типа “Туго” на его коэффициент полезного действия / Вестник НТУУ “КПИ”: Машиностроение. – Киев, 2000. - Вып.38. – Т.1. - С.279-284.

6. Сапожников С.В., Колесниченко Э.В., Яхненко С.М. Программа и методика экспериментального исследования работы однолопастных рабочих колес на газожидкостной смеси / Вестник НТУУ “КПИ”: Машиностроение. – Киев, 2002. - Вып.42. – Т.2. - С.126-130.

7. Вертячих А.В., Герман В.Ф., Яхненко С.М. Влияние подрезки рабочего колеса на параметры свободновихревого насоса / Сборник “Гидравлические машины”. - Харьков: Выща школа, 1988. – Вып.22. – С. 116-118.

8. Яхненко С.М., Герман В.Ф. Влияние угловой подрезки лопатки рабочего колеса на параметры свободновихревого насоса. “Депонированные научные работы”. - ВИНТИ, 1989. - №5.
9. Яхненко С.М. Влияние числа лопастей рабочего колеса центробежного насоса на его напорную и энергетическую характеристики / Труды VIII Междунар. научно-технической конференции “Насосы-96”. – Сумы, 1996. – С.314-323.
10. Яхненко С.М. Влияние вида и свойств перекачиваемой среды на выбор конструкции рабочего колеса динамического насоса / Праці II наук.-техн. конф. “Гідроаеромеханіка в інженерній практиці”. – Черкаси: ЧІТІ, 1998. – С.55-62.
11. Яхненко С.М. Параметрические ряды многофункциональных динамических насосов консольного типа блочно-модульного исполнения / Праці II наук.-техн. конф. “Гідроаеромеханіка в інженерній практиці”. – Черкаси: ЧІТІ, 1998. – С.183-187.
12. А.с. 1078999 СССР, МКИ F 04 D 29/40. Корпус двухпоточного лопастного насоса / Вертячих А.В., Евтушенко А.А., Швиндин А.И., Яхненко С.М. и др. (СССР). - № 3499417/25-06; Заявлено 01.07.82; Оpubл. 08.11.83. Гриф Т (не может быть опубликовано в открытой печати). – 5 с.
13. А.с. 1267050 СССР, МКИ F 04 D 5/00, 7/04. Свободновихревой насос / Яхненко С.М., Синеколодецкая Т.Н (СССР). - № 3892069/31-06; Заявлено 23.04.85; Оpubл. 30.10.86. Бюл. № 40. – 2 с.
14. А.с. 1267052 СССР, МКИ F 04 D 7/40. Свободновихревой насос / Яхненко С.М., Котенко А.И., Герман В.Ф (СССР). - № 3892661/31-06; Заявлено 30.04.85; Оpubл. 30.10.86. Бюл. № 40. – 2 с.
15. А.с. 1245762 СССР, МКИ F 04 D 29/40. Подвод насоса / Яхненко С.М., Калиниченко П.М., Бураков Г.В., Киселев И.И. (СССР). - № 3774273/25-06; Заявлено 25.07.84; Оpubл. 30.07.86. Бюл. № 27. – 2 с.
16. А.с. 1366700 СССР, МКИ F 04 D 7/04. Свободновихревой насос / Яхненко С.М., Вертячих А.В., Новак В.А., Оверчик С.П (СССР). - № 4087658/25-06; Заявлено 11.07.86; Оpubл. 15.01.88. Бюл. № 2. – 3 с.
17. А.с. 1423807 СССР, МКИ F 04 D 7/04. Свободновихревой насос / Яхненко С.М., Твердохлеб И.Б. (СССР). - № 4154862/25-06; Заявлено 27.10.86; Оpubл. 15.09.88. Бюл. № 34. – 3 с.
18. А.с. 1513208 СССР, МКИ F 04 D 7/04, 15/00. Рабочее колесо / Яхненко С.М., Герман В.Ф., Котенко А.И., Синеколодецкая Т.Н, Копелянский В.Б. (СССР). - № 4341486/25-29; Заявлено 11.12.87; Оpubл. 07.10.89. Бюл. № 37. – 2 с.
19. А.с. 15219223 СССР, МКИ F 04 D 29/22. Рабочее колесо свободновихревого насоса / Яхненко С.М., Герман В.Ф., Синеколодецкая Т.Н, Котенко А.И., Копелянский В.Б. (СССР). - № 4339198/25-29; Заявлено 07.12.87; Оpubл. 15.11.89. Бюл. № 42. – 3 с.
20. Вертячих А.В., Герман В.Ф., Яхненко С.М. Незасоряемые насосы для перекачивания жидкостей с твердыми и волокнистыми включениями / Всесоюзное совещание “Повышение

эффективности и надежности машин и аппаратов в основной химии”. - Сумы: РИО, Обл. управление по печати, 1986. – С.

21. Сапожников С.В., Соляник В.А., Яхненко С.М. Создание и применение многофункциональных насосов консольного типа / Междун. научно-технич. конференция “Гидромеханика, гидромашини, гидропривод и гидропневмоавтоматика”, 3-6 декабря 1996 г., Москва. – М.: Изд-во МЭИ, 1996. – С. 82.

## АНОТАЦІЯ

Яхненко С.М. Гідродинамічні аспекти блочно-модульного конструювання динамічних насосів.-Рукопис.

Дисертація на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук зі спеціальності 05.05.17- Гідравлічні машини та гідропневмоагрегати.-Сумський державний університет, Суми, 2003.

Дисертація присвячена питанню визначення гідродинамічних аспектів вибору конструктивного виконання насосного обладнання гідродинамічного принципу дії при перекачуванні РТС та розробці блочно-модульних конструкцій вказаних насосних агрегатів, що направлені на забезпечення їх працездатності в роботі та зниження собівартості виготовлення. В роботі розглянуті різні конструктивні виконання динамічних насосів як від центрових так і вільновихорових, проведено порівняння робочих характеристик. Встановлено, що зміна місця розташування вільновихорового РК відносно вільної камери уніфікованого відводу дозволяє отримати проточні частини ВВН (перехідна схема ВНДІГідромаш, схем “Seka”), що мають інші функціональні можливості ніж вихідна проточна частина ВВН типу “Turo”. ВВН типу “Seka” має оптимальну будову ПЧ з точки зору уніфікації з відцентровим варіантом динамічного насоса.

Встановлена можливість появи явища “забивання” проточної частини ВВН типу “Turo” та обґрунтовано кількісний критерій оцінки можливості його появи. Встановлено кількісні показники змін енергетичних параметрів відцентрового насоса при зменшенні числа лопатей його РК до однолопатевого включно. Проведена класифікація гідросумішей, що підлягають перекачуванню динамічними насосами, та визначені економічно доцільні взаємозв’язки між складом гідросумішей та конструктивним виконанням насосів. Розроблена методика проектування ПЧ відцентрового насоса з однолопатевою робочим колесом. Основні результати роботи знайшли застосування на промислових підприємствах України та Молдавії.

Ключеві слова: динамічний насос, вільновихоровий насос, робочий процес, рідино-тверда суміш, методика, параметричний ряд.



## SUMMARY

Yahnenko S.M. Hydrodynamic aspects of block-unit designing of dynamic pumps. – The manuscript.

Thesis on competition of a scientific degree of the candidate of engineering science in speciality 05.05.17 – hydraulic machines and hydraulic and pneumatic units. Sumy State University, Sumy, 2003.

The thesis is dedicated to the problem of determination of hydrodynamic aspects considering selection of design of pump equipment of hydrodynamic principle of operation intended for treatment of liquid-solid mixtures. The thesis is also dedicated to development of block-unit design types of those pump plants. Those aspects are aimed to ensure their operational reliability and to reduce costs for their manufacturing. The paper considers various design types of dynamic pumps, both centrifugal and free-vortex pumps, presents comparison of their performance curves.

The possibility of occurring of clogging of hydraulic parts of a free-vortex pump of “Turo” type is analysed and numerical criterion allowing for evaluation of this possibility is justified. Numerical values of changing of performance parameters of a centrifugal pump when the number of its impeller blades is reduced to unity. The technique of designing of the hydraulic parts of a centrifugal pump with one-blade impeller is developed. The main results of this research were applied at the industrial enterprises of Ukraine and Moldova.

Key words: dynamic pump, free-vortex pump, working process, liquid-solid mixture, technique, parametric series.

## АННОТАЦИЯ

Яхненко С.М. Гидродинамические аспекты блочно-модульного конструирования динамических насосов. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.17 - Гидравлические машины и гидропневмоагрегаты.- Сумский государственный университет, Сумы, 2003.

В диссертации на основании литературных данных сделано заключение о том, что существующий на данный момент времени отраслевой принцип классификации, а соответственно, разработки и освоения производства насосов ведет к появлению большой номенклатуры, а следовательно к снижению серийности производства и в конечном итоге делает большинство насосов экономически не выгодной продукцией. Возникшее противоречие может быть преодолено путем перехода к блочно-модульному конструированию и производству одноступенчатых

консольных насосов. Реализация блочно-модульного способа конструирования (РК - отвод - опорная стойка) насосов общепромышленного (перекачивающих технически чистые жидкости) и специального (перекачивающих различные гидросмеси) назначений возможна, если отказаться от единых (унифицированных) параметрических рядов напора и подачи, но сохранить унификацию по конструктивной схеме и некоторым геометрическим параметрам насосов. С целью удовлетворения потребностей практического насосостроения в сокращении финансовых и временных затрат на создание насосов динамического принципа действия блочно-модульного исполнения были проведены расчетно-аналитические и экспериментальные исследования, которые позволили определить возможность применения в унифицированных корпусах отводов РК различной конструкции, как центробежных с числом лопастей  $Z=3...1$ , так и свободновихревых рабочих колес. Установлено, что изменение расположения рабочего колеса СВН относительно свободной камеры позволяет получить ПЧ (переходная схема ВНИИГидромаша, схема "Seka"), которые имеют иные функциональные возможности, чем исходная проточная часть насоса "Туго". СВН, выполненные по схеме "Seka", являются оптимальными для унификации с центробежным вариантом динамического насоса. Их экономическая эффективность по уровню КПД достигает 60%, но они имеют ограниченные функциональные возможности по перекачиванию гидросмесей с крупными твердыми включениями. Оптимальным по КПД значение угла выхода лопасти  $\beta_{2л}$  свободновихревого РК находится в пределах  $\beta_{2л}=72^0...80^0$ . Экспериментально доказано существование взаимосвязи для рабочих колес СВН оптимального соотношения величины входного патрубка  $\bar{d}_0$  и начального диаметра расположения лопастей  $\bar{d}_1$ . Для получения максимального значения КПД насоса необходимо выдержать условие  $\bar{d}_0 = \bar{d}_1$ . Выполненная визуализация течения гидросмеси в насосе типа "Туго" позволила разработать физическую, а на ее основе и математическую модель "забиваемости" напорного патрубка насоса. Получен количественный критерий оценки забиваемости напорного патрубка СВН типа "Туго".

Разработана методика проектирования центробежного насоса с однолопастным РК. Аналитически и экспериментально доказано, что в диапазоне  $ns=160-190$  уровень гидравлического КПД однолопастного колеса составляет  $\eta_r=80\%$ . Для центробежного РК с числом лопастей  $Z=3$  уменьшение числа лопастей на одну снижает КПД в среднем на 5%. Переход от трехлопастного РК к однолопастному снижает напор примерно в два раза.

Выполненные исследования позволили получить практически значимые результаты для сегодняшней практики насосостроения и подготовки специалистов в этой области для проведения мероприятий по улучшению технико-экономических показателей работы действующих промышленных гидравлических систем.

Ключевые слова: динамический насос, свободновихревой насос, рабочий процесс, жидкостно-твердая смесь, методика, параметрический ряд.

Підп. до друку 20.10.2003 р.

Формат 60×84/16.

Наклад 100 прим.

Обл.-вид. арк. 1,1.

Замовл. № 390

---

“РИЗОЦЕНТР” СУМДУ, 40007, М. СУМИ, ВУЛ. РИМСЬКОГО-КОРСАКОВА, 2