

УДК 621.65

**ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ПІДВИЩЕННЯ ВСМОКТУВАЛЬНОЇ
ЗДАТНОСТІ ШНЕКОВОВІДЦЕНТРОВОГО СТУПЕНЯ БЕЗ ЗМІНИ
ГЕОМЕТРІЇ ПЕРЕДВКЛЮЧЕНОГО І РОБОЧОГО КОЛЕСА***

О. В. Єлін, канд. техн. наук, доцент,
Науково-дослідний та проектно-конструкторський інститут атомного
та енергетичного насособудування (ВАТ "ВНДІАЕН"),
2-га Залізнична, 2, м. Суми, 40003, Україна,
E-mail: admin@vniiaen.sumy.ua

В статті наведено результати експериментальних досліджень можливості підвищення всмоктувальної здатності шнекововідцентрового ступеня з коефіцієнтом швидкохідності $n_s = 120$ без зміни геометрії передвключеного та робочого колеса. Використання негладкої статорної втулки над передвключеним колесом в ряді випадків забезпечує значне зниження критичного кавітаційного коефіцієнту швидкохідності шнекововідцентрового ступеня. Встановлено вплив на всмоктувальну здатність дослідженого ступеня таких факторів як тип лопатевої системи передвключеного колеса, геометрія внутрішньої поверхні негладкої статорної втулки над передвключеним колесом, місцезнаходження негладкої статорної втулки відносно вхідної кромки лопатей передвключеного колеса, величина радіального зазору між негладкою статорною втулкою та лопатями передвключеного колеса

Ключові слова: відцентровий насос, масогабаритні характеристики, шнекововідцентровий ступінь, всмоктувальна здатність, кавітаційні характеристики.

ВСТУП

В умовах міжнародної фінансової кризи перед вітчизняним машинобудуванням та, зокрема насособудуванням, поставлено завдання підвищення конкурентоспроможності на зовнішньому та внутрішньому ринках для нарощування експорту та скорочення імпорту даного виду продукції [1]. Одними з основних факторів, що визначають конкурентоспроможність насоса, як і будь-якої іншої машини, є його масогабаритні характеристики. Останні грають суттєву роль у формуванні вартості життєвого циклу, як безпосередньо насосного обладнання, так і всієї технологічної системи, в якій насоси експлуатуються [2]. Для більшості відцентрових насосів великої потужності одним з факторів, які визначають їх конструктивне виконання, є всмоктувальна здатність. Для покращення кавітаційних характеристик відцентрові насоси комплектуються спеціальним вхідним пристроєм у вигляді передвключеного осьового колеса [3]. При цьому забезпечується зниження маси та зменшення габаритів насосного агрегату за рахунок

* В проведенні експериментальних робіт приймали участь Авдеєнко В. П. та Куценко В. О.

можливості переходу на підвищену частоту обертання ротору. Використання передвключених осьових коліс у високопродуктивних живильних насосних агрегатах дозволяє уникнути необхідності застосування спеціального бустерного насосу, у вертикальних конденсатних насосах та нафтових підпірних насосах – скоротити осьові габарити [3, 4]. Таким чином, розширення сфери використання у відцентрових насосах вхідних пристроїв у вигляді шнековідцентрового ступеня та вдосконалення їх характеристик є одним з резервів зниження масогабаритних характеристик та підвищення конкурентоспроможності відцентрових насосних агрегатів великої потужності, що виготовляються підприємствами України.

Науково-дослідний та проектно-конструкторський інститут атомного та енергетичного насособудування ВАТ “ВНДІАЕН” (м. Суми, Україна) більш ніж 40 років спеціалізується на дослідженнях та розробці перших шнековідцентрових ступенів для насосів різного конструктивного виконання та призначення [3, 4]. За останні роки інститутом для номенклатури відцентрового насосного обладнання власної розробки було виконано оцінку та попереднє конструктивне опрацювання можливості використання передвключених пристроїв у вигляді оседагонального ступеня, які засвідчили перспективність подальших досліджень у цьому напрямку [5-8]. Для конструкцій високопродуктивних живильних насосів запропоновано нові схеми та компоновочні рішення на базі шнековідцентрового ступеня у двохпоточному виконанні [9, 10].

Значний інтерес представляє питання пошуку резервів покращення кавітаційних характеристик шнековідцентрових ступенів традиційного конструктивного виконання [11]. Такі роботи представляється доцільним проводити відносно до конструкції окремих елементів шнековідцентрового ступеня – передвключеного осьового колеса, відцентрового робочого колеса та надроторних елементів передвключеного осьового колеса.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Метою даної статті є дослідження можливості покращення кавітаційних характеристик шнековідцентрового ступеня традиційного конструктивного виконання без зміни геометрії робочого та передвключеного коліс за рахунок надроторних елементів останнього.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

1. Огляд існуючих рішень поставленої задачі

В традиційній конструкції шнековідцентрового ступеня внутрішня поверхня статорної втулки над передвключеним осьовим колесом виконується гладкою [11].

За останнє десятиріччя японськими вченими проведений ряд досліджень по вивченню впливу негладкої статорної втулки над передвключеним осьовим колесом на характеристики та робочий процес шнековідцентрового ступеня [12-15].

Так стосовно насосів рідинно-ракетних двигунів досліджено вплив неглибоких подовжніх пазів, виконаних на внутрішній поверхні статорної втулки над передвключеним осьовим колесом, на енергетичні та кавітаційні характеристики шнековідцентрового ступеня з коефіцієнтом швидкості $n_s = 140$ [12-14]. Для ряду конфігурацій пазів на статорній втулці засвідчено зниження припустимого кавітаційного запасу шнековідцентрового ступеня - до 20 % на подачі, що відповідає максимальній економічності ступеня, та до 35 % на максимальній подачі з робочого інтервалу подач. При цьому зменшення коефіцієнту корисної дії (ККД) дослідженого ступеня не перевищило

1,2 % в абсолютному обрахунку. Отриманий ефект підвищення всмоктувальної здатності шнековідцентрового ступеня автори пояснили подавленням за рахунок подовжніх пазів на статорній втулці деяких видів кавітаційних течій у передвключеному осьовому колесі, зокрема вихорової кавітації зворотних струмів.

В роботі [15] спеціалістами японської фірми «Ebara» на прикладі багатоступеневого насосу з першим шнековідцентровим ступенем, що працює на скрапленому газі, досліджено вплив на енергетичні та кавітаційні характеристики насосу п'ятизаходових гвинтових канавок, виконаних в напрямку, протилежному обертанню ротора, на внутрішній поверхні статорної втулки над передвключеним осьовим колесом. У порівнянні з гладким виконанням статорної втулки при абсолютному збільшенні економічності на 2 % зафіксовано зниження припустимого кавітаційного запасу насосу – на 15 % – для подачі, що відповідає максимальному ККД, та на 40 % – для максимальної подачі з робочого інтервалу подач.

З урахуванням вищезгаданого пошук резервів підвищення всмоктувальної здатності шнековідцентрового ступеня без зміни геометрії передвключеного та робочого колеса за рахунок позитивного ефекту від негладкої статорної втулки над передвключеним колесом є обґрунтованим та представляє значний науковий та практичний інтерес.

2. Актуальність поставленої задачі

Наразі у ВАТ “ВНДІАЕН” реалізується комплексна програма створення нового покоління насосного обладнання для теплової та атомної енергетики, трубопровідного транспорту нафти, а також виконуються роботи щодо модернізації раніше розроблених насосів з метою підвищення їх технічного рівня, в т.ч. і всмоктувальної здатності. Напрямок підвищення всмоктувальної здатності відцентрового насосу, що розглядається у даній статті, дозволяє зменшити припустимий кавітаційний запас насосу при мінімальній зміні існуючої конструкції, в т.ч. модернізувати насоси, що вже експлуатуються.

3. Вибір методів, підходів, моделей та інструментів вирішення поставленої задачі

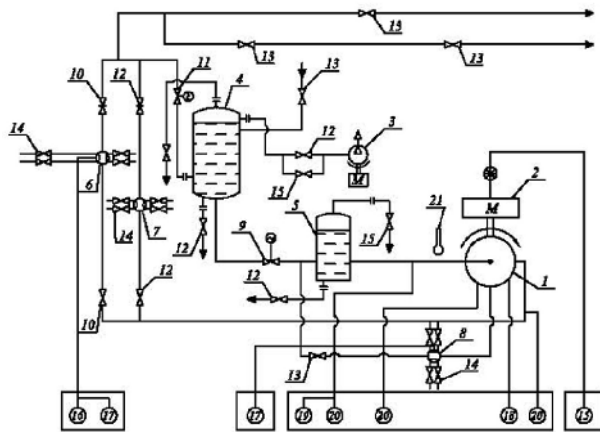
В якості метода вирішення поставленої задачі обрано фізичний експеримент з модельним шнековідцентровим ступенем, що має коефіцієнт швидкохідності $n_s = 120$ та складається з передвключеного осьового колеса, відцентрового робочого колеса та направляючого апарату. Даний ступінь використовується в живильних насосах типу ПЭА (ПЭ), конденсатних насосах типу КсВА (КсВ), вертикальних нафтових підпірних насосах типу НПВ розробки ВНДІАЕН.

Для проведення фізичного експерименту був задіяний існуючий у ВАТ “ВНДІАЕН” атестований експериментальний стенд, інформація про який наведена на рис. 1.

Випробування модельного шнековідцентрового ступеня проводилися на воді з температурою до 30°C при частоті обертання 1500 об/хв. Під час експериментів використовувалися раніше багаторазово апробовані у ВНДІАЕН методики зняття та побудови енергетичних та кавітаційних характеристик у відповідності до вимог стандарту [16].

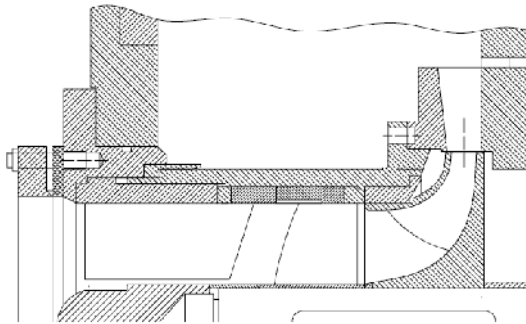
Варіанти модельних передвключених осьових коліс, досліджених у складі шнековідцентрового ступеня, проектувалися у відповідності до методичних рекомендацій [11]. Основні геометричні особливості модельних передвключених осьових коліс приведено у таблиці 1.

Зовнішній вигляд досліджених передвключених осьових коліс приведений на рисунку 2.

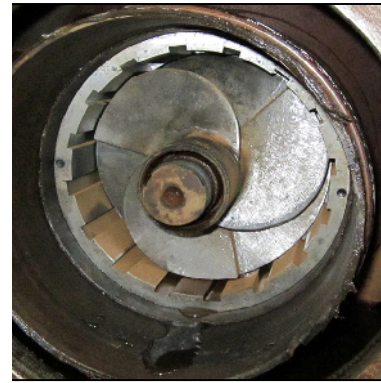


1. Експериментальний прилад (насос)
2. Балансирний динамометр
3. Вакуумний насос
4. Бак напірний
5. Бак-заспокоювач
6. Витратомірний пристрій Ду150
7. Витратомірний пристрій Ду100
8. Витратомірний пристрій Ду50
9. Засувка з електроприводом Ду300
10. Засувка Ду150
11. Засувка з електроприводом Ду150
12. Засувка Ду100
13. Вентиль Ду50
14. Вентиль запірний сталевий
15. Вентиль Ду15
16. Дифманометр
17. Дифманометр
18. Пристрій для вимірювання частоти обертання
19. Вакуумметр
20. Манометр
21. Термометр

а



б



в



г



д

Рисунок 1 – Експериментальна установка: а) схема експериментального стенду; б) фрагмент подовжнього перерізу експериментального пристрою; в) зовнішній вигляд робочого колеса; г) зовнішній вигляд направляючого апарату; д) зовнішній вигляд передвключеного осьового колеса з негладкою статорною втулкою

Таблиця 1 – Геометричні особливості досліджених передвключених осьових коліс

Пор. номер	Тип лопатевої системи передвключеного осьового колеса	Відносний радіальний зазор, δ
ПОК1	Шнек постійного шагу	0,0095
ПОК2а	Шнек змінного шагу з виступом на тильній поверхні лопатей	0,0014
ПОК2б		0,0048
ПОК2в		0,0071
ПОК2г		0,0095
ПОК3	Шнек змінного шагу	0,0014

Примітка: $\delta = r/D_{ст.вт}$, де r – радіальний зазор між лопатями шнека та статорною втулкою, мм; $D_{ст.вт}$ – внутрішній діаметр статорної втулки над передвключеним осьовим колесом, мм



Рисунок 2 – Зовнішній вигляд досліджених передвключених осьових коліс:
а - ПОК1; б - ПОК2; в - ПОК3

Характерні геометричні особливості статорних втулок над передвключеним осьовим колесом приведено у таблиці 2.

Зовнішній вигляд досліджених статорних втулок над передвключеним осьовим колесом наведений на рисунку 3.

Таблиця 2 – Геометричні особливості досліджених статорних втулок над передвключеним осьовим колесом

Пор. номер	Варіант внутрішньої поверхні втулки	Характеристики втулки
В1	Гладка втулка	-
В2а	Прямі подовжні пази	$L = 0,38D_{ст.вт}$, $z = 32$
В2б		$L = 0,29D_{ст.вт}$, $z = 32$
В2в		$L = 0,38D_{ст.вт}$, $z = 16$
В3	Кільцеві пази	$L = 0,48D_{ст.вт}$, $z = 3$
В4	Гвинтова нарізка (проти обертання шнека)	П'ятизаходова, $S = 0,38D_{ст.вт}$

Примітка: L – довжина негладкої частини втулки; z – число пазів, S – осьовий хід гвинтової лінії нарізки

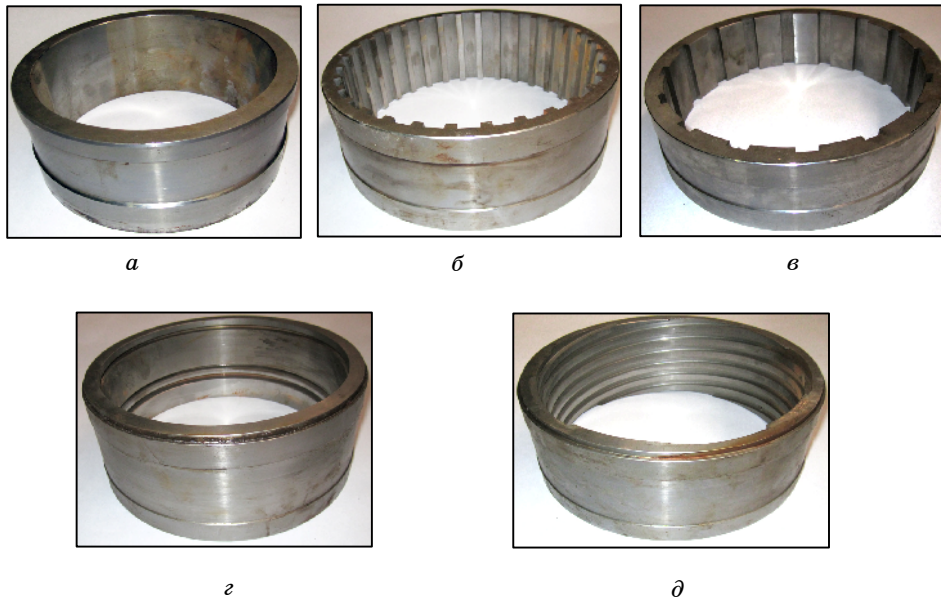


Рисунок 3 – Зовнішній вигляд досліджених статорних втулок над передвключеним осьовим колесом: а - В1; б - В2а; в - В2б; г - В3; д - В4

4. Вирішення поставленої задачі

В таблицях 3-5 у відносному вигляді представлено узагальнені дані щодо впливу варіанту статорної втулки над передвключеним осьовим колесом на характеристики дослідженого шнековідцентрового ступеня у залежності від типу лопатевої системи передвключеного осьового колеса.

Згідно із таблиць 3-5 в залежності від поєднання варіантів лопатевої системи передвключеного осьового колеса та внутрішньої поверхні статорної втулки над передвключеним осьовим колесом отримана різна комбінація позитивних та (або) негативних ефектів від негладкої статорної втулки на характеристики дослідженого шнековідцентрового ступеня, зокрема:

- зниження показника $C_{кр3\%}$ при зменшенні економічності;
- підвищення економічності при збереженні показника $C_{кр3\%}$;
- підвищення показника $C_{кр3\%}$ при збереженні економічності.

Таблиця 3 – Вплив геометрії статорної втулки над передвключеним осьовим колесом на характеристики шнековідцентрового ступеня з передвключеним осьовим колесом ПOKI

Варіант статорної втулки	$K_H/K_{Hгл}$	$\eta_{max}/\eta_{max.гл}$	$C_{кр3\%}/C_{кр3\%.гл}$	
			$Q=Q_{гл}$	$Q=1,2Q_{гл}$
В2а ($l_1 = l_2 = 0,50L$)	1,02	0,99	1,00	0,87
В2б ($l_1 = 0,58L, l_2 = 0,42L$)	1,00	0,98	0,92	0,89
В2в ($l_1 = l_2 = 0,50L$)	1,02	1,03	1,00	0,96
В3	1,00	1,00	1,11	1,05
В4 ($l_1 = 0,4L, l_2 = 0,60L$)	0,96	0,98	1,11	0,82

Примітка: індекс $_{гл}$ – для гладкої статорної втулки В1; K_H – коефіцієнт напору ступеня на режимі максимального ККД; η_{max} – максимальний ККД ступеня; $C_{кр3\%}$ - критичний кавітаційний коефіцієнт швидкохідності ступеня на режимі максимального ККД; Q – подача, що відповідає режиму максимального ККД ступеня; l_1 – довжина негладкої частини статорної втулки перед входними кромками передвключеного осьового колеса; l_2 – довжина негладкої частини статорної втулки за входними кромками передвключеного осьового колеса

Таблиця 4 – Вплив геометрії статорної втулки над передвключеним осьовим колесом на характеристики шнековідцентрового ступеня з передвключеним осьовим колесом ПОК2а

Варіант статорної втулки	$K_H/K_{H_{гл}}$	$\eta_{\max}/\eta_{\max.гл}$	$C_{кр3\%}/C_{кр3\%_{гл}}$	
			$Q=Q_{гл}$	$Q=1,2Q_{гл}$
B2a ($l_1 = l_2 = 0,50L$)	1,02	0,93	1,56	1,31
B2б ($l_1 = 0,67L, l_2 = 0,33L$)	1,02	0,93	1,25	1,50
B2в ($l_1 = l_2 = 0,50L$)	1,02	0,96	0,84	1,01
B3	1,02	0,99	1,05	1,11
B4 ($l_1 = 0,40L, l_2 = 0,60L$)	0,96	0,96	1,00	1,17

Таблиця 5 – Вплив геометрії статорної втулки над передвключеним осьовим колесом на характеристики шнековідцентрового ступеня з передвключеним осьовим колесом ПОК3

Варіант статорної втулки	$K_H/K_{H_{гл}}$	$\eta_{\max}/\eta_{\max.гл}$	$C_{кр3\%}/C_{кр3\%_{гл}}$	
			$Q=Q_{гл}$	$Q=1,2Q_{гл}$
B2a ($l_1 = l_2 = 0,50L$)	0,98	0,90	1,56	1,11
B2б ($l_1 = 0,67L, l_2 = 0,33L$)	0,98	0,92	1,84	1,70
B2в ($l_1 = l_2 = 0,50L$)	1,02	0,98	1,68	0,91

В таблиці 6 у відносному вигляді представлені узагальнені дані щодо впливу величини радіального зазору на характеристики шнековідцентрового ступеня з передвключеним осьовим колесом ПОК2 та статорною втулкою B2в ($l_1 = l_2 = 0,50L$).

Таблиця 6 – Вплив радіального зазору на характеристики шнековідцентрового ступеня з передвключеним осьовим колесом ПОК2 та статорною втулкою B2в ($l_1=l_2=0,50L$)

Варіант передвключеного осьового колеса	$K_H/K_{H_{гл}}$	$\eta_{\max}/\eta_{\max.гл}$	$C_{кр3\%}/C_{кр3\%_{гл}}$	
			$Q=Q_{гл}$	$Q=1,2Q_{гл}$
ПОК2а	1,02	0,96	0,84	1,01
ПОК2б	1,04	1,00	1,15	1,19
ПОК2в	1,02	1,00	1,05	1,20
ПОК2г	1,02	0,99	1,00	1,14

Відповідно до даних таблиці 6 можна припустити, що у випадку негладкої статорної втулки як за величиною $C_{кр3\%}$, так і за економічністю має місце деяке оптимальне значенні величини радіального зазору. Перевищення цієї величини призводить до того, що величина витоку через радіальний зазор значно перевищує витрату вторинної течії у пазах статорної втулки, і вплив останніх стає не відчутним. При значенні зазору, меншому оптимальної величини, відбувається погіршення всмоктувальної здатності та економічності ступеня внаслідок негативного впливу вторинної течії у пазах статорної втулки на структуру потоку в периферійних перерізах лопатевої системи передвключеного осьового колеса.

В таблиці 7 у відносному вигляді представлено узагальнені дані про вплив місцезнаходження статорної втулки B2в відносно вхідної кромки лопатей передвключеного осьового колеса ПОК2б на характеристики шнековідцентрового ступеня.

Таблиця 7 – Вплив місцезнаходження статорної втулки В2б відносно вхідної кромки лопатей передвключеного осьового колеса ПОКЗ на характеристики шнековідцентрового ступеня

Варіант статорної втулки	$K_H/K_{HгЛ}$	$\eta_{\max}/\eta_{\max.г}$ л	$C_{кр3\%}/C_{кр3\%гЛ}$	
			$Q=Q_{гЛ}$	$Q=1,2Q_{гЛ}$
В2б ($l_1 = 0,67L, l_2 = 0,33L$)	0,98	0,92	1,84	1,70
В2б ($l_1 = 0,83L, l_2 = 0,17L$)	0,98	0,96	1,55	1,40
В2б ($l_1 = L, l_2 = 0$)	0,98	0,97	1,68	1,20

Згідно із даними таблиці 7 переміщення негладкої частини статорної втулки у бік підводу за межі передвключеного осьового колеса супроводжується підвищенням економічності ступеня при зменшенні величини позитивного ефекту негладкої статорної втулки на величину $C_{кр3\%}$.

5. Адекватність теоретичних рішень та переваги практичних рішень над існуючими

На прикладі традиційних конструкцій передвключених осьових коліс розробки ВНДІАЕН, як і в дослідженнях японських авторів, підтверджена адекватність гіпотези щодо можливості підвищення всмоктувальної здатності шнековідцентрового ступеня за рахунок позитивного ефекту від вторинних течій, які виникають в надроторних елементах передвключеного осьового колеса. Практичне використання даного технічного рішення дозволяє мінімізувати масогабаритні характеристики відцентрових насосів, що розробляються, при збереженні їх кавітаційних та енергетичних характеристик, а також покращувати кавітаційні характеристики відцентрових насосів під час модернізації з мінімальними змінами конструкції.

6. Приклади застосування отриманих результатів

За результатами виконаних досліджень отримано патент [17].

З урахуванням неоднозначності отриманого ефекту від негладкої статорної втулки над передвключеним осьовим колесом на показники якості шнековідцентрового ступеня у подальшому необхідне детальне дослідження робочого процесу у такому ступені з розробкою та верифікацією на практиці методики його проектування. До створення методики проектування у кожному конкретному випадку необхідне попереднє відпрацювання шнековідцентрового ступеня з негладкою статорною втулкою над передвключеним осьовим колесом на модельному стенді.

В подальшому у ВАТ “ВНДІАЕН” планується експериментальна перевірка технічного рішення, що розглядається, у натурному насосі зі шнековідцентровим ступенем, який проектується або модернізується.

ВИСНОВКИ

1 Для основних типових конструкцій передвключених осьових коліс розробки ВНДІАЕН експериментально підтверджена принципова можливість покращення всмоктувальної здатності шнековідцентрового ступеня без зміни геометрії передвключеного та робочого колеса шляхом виконання пазів (подовжніх або кільцевих) або гвинтової нарізки на статорній втулці над передвключеним осьовим колесом.

2 В залежності від геометрії переключеного осьового колеса та негладкої статорної втулки над передвключеним колесом отримана різна комбінація ефектів від виконання пазів (подовжніх або кільцевих) або

гвинтової нарізки на статорній втулці на всмоктувальну здатність та економічність дослідженого шнековідцентрового ступеня.

3 На прикладі окремих комбінацій передвключеного осьового колеса та негладкої статорної втулки над передвключеним колесом встановлено суттєвий вплив величини радіального зазору між втулкою та зовнішнім діаметром передвключеного колеса, а також місцезнаходження подовжніх пазів у втулці відносно вхідної кромки лопатей передвключеного колеса на всмоктувальну здатність та економічність шнековідцентрового ступеня.

4 Для можливості використання запропонованого технічного рішення на практиці необхідно створення методики проектування шнековідцентрового ступеня з негладкою статорною втулкою над передвключеним осьовим колесом, а також проведення окремих досліджень впливу негладкої статорної втулки на кавітаційно-ерозійні характеристики шнековідцентрового ступеня.

POSSIBILITY TO INCREASE THE SUCTION CAPACITY OF THE INDUCER CENTRIFUGAL STAGE WITHOUT CHANGING OF AN INDUCER AND AN IMPELLER GEOMETRY

A. V. Yelin,

*Research and Design Institute for Atomic and Power Pumpbuilding (JSC "VNIIAEN"),
2-ya Zheleznodorozhnaya, 2, Sumy, 40003, Ukraine
E-mail: admin@vniiaden.sumy.ua*

This paper has summarized the results of experimental studies of the possibility to increase the suction capacity of the inducer centrifugal stage with $n_s = 120$ without changing of the inducer and the impeller geometry. In some cases the application of the rough stationary bushing over the inducer provides a great reduction of the suction specific speed of the inducer centrifugal stage. The effects on the suction capacity of the investigated stage such factors as the type of inducer blading, the geometry of the rough stationary bushing over the inducer, the location of the rough stationary bushing relative to the leading edge of the inducer blades, the radial clearance between the rough stationary bushing and inducer blades have been determined

Keywords: *centrifugal pump, mass-dimensional characteristics, inducer centrifugal stage, suction capacity, cavitation characteristics*

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ ВСАСЫВАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ШНЕКОЦЕНТРОБЕЖНОЙ СТУПЕНИ БЕЗ ИЗМЕНЕНИЯ ГЕОМЕТРИИ ПРЕДВКЛЮЧЕННОГО И РАБОЧЕГО КОЛЕСА

A. B. Елин,

*Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт атомного и энергетического насосостроения (ООО "ВНИИАЭН"),
2-я Железнодорожная, 2, г. Сумы, 40003, Украина
E-mail: admin@vniiaden.sumy.ua*

В статье приведены результаты экспериментальных исследований возможности повышения всасывающей способности шнекоцентробежной ступени с коэффициентом быстроходности $n_s = 120$ без изменения геометрии предвключенного и рабочего колеса. Применение негладкой статорной втулки над предвключенным колесом в ряде случаев обеспечивает значительное снижение критического кавитационного коэффициента быстроходности шнекоцентробежной ступени. Установлено влияние на всасывающую способность исследованной ступени таких факторов как тип лопастной системы предвключенного колеса, геометрия внутренней поверхности негладкой статорной втулки над предвключенным колесом, местоположение негладкой статорной втулки относительно входной кромки лопастей предвключенного колеса, величина радиального зазора между негладкой статорной втулкой и лопастями предвключенного колеса.

Ключевые слова: *центробежный насос, массогабаритные характеристики, шнекоцентробежная ступень, всасывающая способность, кавитационные характеристики*

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Закон України “Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки”. [Електронний ресурс]. - <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/2623-14>.
2. L. Frenning et al. Pump life cycle costs: A guide to LCC analysis for pumping systems. – Hydraulic institute & Europump – 2001. – 194 p.
3. Насосы специального и общепромышленного назначения с предвключенными осевыми колесами. Обзор опыта исследований, разработки и эксплуатации насосов с предвключенным осевым колесом / Визенков Г., Твердохлеб И., Купченко В., Иванюшин А., Авдеенко В. // Насосы и оборудование. – 2008. - № 3. – С. 46-50.
4. Applying feed pump systems without boosters in NPPs / I. Tverdokhle, G. Vizenkov, A. Birukov, V. Kutchenko, A. Vaschenko// Nuclear Exchange. – November, 2012. – pp. 31-33.
5. Давиденко А.К. Перспективы использования оседиагональных рабочих органов для улучшения кавитационных качеств промышленных центробежных насосов / Давиденко А. К., Елин А. В., Елин В. К., Руденко А. А. // Труды 13-й международной научно-технической конференции «Герметичность, вибронадежность и экологическая безопасность насосного и компрессорного оборудования - «ГЕРВИКОН-2011». – Сумы: СумГУ, 2011. – С. 309-316.
6. Елин А. В. Основные тенденции развития насосов для энергетики. Опыт насосостроительного кластера г. Сумы / А. В. Елин // Materialy XVII Forum uzutkownikow pomp. Lichen, 21-23 wrzesnia 2011. – Pompy – Pompownie: Wroclaw, 2011. – P. 55-62.
7. Елін О.В., Елін В.К., Руденко А.А. Патент на корисну модель “Вертикальний відцентровий насос” UA 69196 U // Електронна версія акумулятивного офіційного бюллетеня “Промислова власність”. - 25.04.2012, №8 (на сайті [www://ukrpatent.org](http://ukrpatent.org)).
8. Елін О.В., Елін В.К., Давиденко А.К. Патент на корисну модель “Багатоступеневий відцентровий насос із передвключенням (бустерним) пристроєм” UA 69197 U // Електронна версія акумулятивного офіційного бюллетеня “Промислова власність”. - 25.04.2012, №8 (на сайті [www://ukrpatent.org](http://ukrpatent.org)).
9. Елін О.В., Руденко А.А. Патент на корисну модель “Багатоступеневий відцентровий насос” UA 75848 U // Електронна версія акумулятивного офіційного бюллетеня “Промислова власність”. - 10.12.2012, №23 (на сайті [www://ukrpatent.org](http://ukrpatent.org)).
10. Елін О.В., Руденко А.А., Давиденко А.К. Патент на корисну модель “Багатоступеневий відцентровий насос» UA № 82162 U // Електронна версія акумулятивного офіційного бюллетеня “Промислова власність”. - 25.07.2013ю - № 14. [на сайті [www://ukrpatent.org](http://ukrpatent.org)].
11. Методические указания к курсовому и дипломному проектированию «Шнеко-центробежная ступень насоса». Составители: Ржебаева Н. К., Жуков В. М., Куценко В. А. Кафедра гидравлических машин Сумского филиала Харьковского политехнического института. – Х.,1990. – 40 с.
12. Imamura H. Suppression of cavitation flow in inducer by J-groove / Imamura H., Kurokawa J., Matsui J., Kikuchi M. // Fifth international symposium on cavitation (CAV2003), CAV03-OS-4-006 (in CD-ROM). - November 1-4, 2003, Osaka, Japan.
13. Kurokawa J. Suppression of cavitation in inducer by J-groove (in Japanese) / Kurokawa J., Imamura H., Choi Y., Ito M., Kikuchi M.// Turbomachinery. – 2005. – Vol. 33, № 10. – P. 592-600.
14. Suppression of cavitation instabilities in an inducer by J-groove / Shimia N., Fujii A., Horiguchi H., Uchiumi M., Kurokawa J., Tsujimoto Y.// Sixth international symposium on cavitation (CAV2006), (in CD-ROM). - September, 2006, Wageningen, Netherlands.
15. <http://www.ebaraintl.com/technical-papers/improved-centrifugal-pump-performance-with-counter-helical-inducer-housing-grooves>. S. Alison-Youel. Improved centrifugal pump performance with counter helical inducer housing grooves. – 4 p.
16. Насоси динамічні. Методи випробування. ДСТУ ГОСТ 6134-2009 (ISO 9906:1999). - К.: Держспоживстандарт України. – 2009. – 105 с.
17. Авдеєнко В.П., Елін О.В., Куценко В.О., Ткач П.Ю. Патент на корисну модель «Шнековідцентровий ступінь насоса» UA № 81633 U // Електронна версія акумулятивного офіційного бюллетеня “Промислова власність”. - 10.07.2013. - № 13 [на сайті [www://ukrpatent.org](http://ukrpatent.org)].

Надійшла до редакції 19 червня 2013 р.