

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ СТЕНД ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ВІЛЬНОВИХРОВИХ НАСОСІВ

EXPERIMENTAL STAND FOR INVESTIGATION OF TORQUE FLOW PUMPS

Мета. Збільшення вартості енергоресурсів вимагає від виробників підвищення енергоефективності (к.к.д.) насосного обладнання. Важливим етапом удосконалення насосних установок є проведення експериментального дослідження. Це дозволяє експериментально підтвердити результати досліджень і підготувати удосконалений елемент до впровадження. Метою роботи є проектування експериментального стенду для визначення робочих параметрів та побудови характеристик вільновихрового насоса.

Метод дослідження. Для проведення дослідження розроблено випробувальний стенд, що працює за схемою замкнутого контуру циркуляції води. У роботі розглянуто методику визначення робочих параметрів насоса і оцінки похибок проведеного експерименту.

Результати дослідження. Контрольно-вимірвальні засоби і методика проведення досліджень забезпечили необхідну точність проведення фізичного експерименту. Відносна гранична похибка не перебільшувала 1,89%, що знаходиться у межах допустимих граничних похибок.

Заключення. Експериментально підтверджено адекватність попередніх результатів чисельного дослідження. Доведено, що метод чисельного дослідження з використанням програмного забезпечення AnsysCFX допускається використовувати у наукових цілях.

Ключові слова: вільновихровий насос, СВН, робочі параметри, робочі характеристики, випробувальний стенд, фізичний експеримент

Вступ

Важливим етапом розробки насосного обладнання є проведення експериментального дослідження, що дозволяє встановити зв'язок між основними параметрами насосів та побудувати їх робочі характеристики.

Для проведення експериментальних досліджень запропоновано розробити експериментальний стенд із можливістю проведення фізичного експерименту для параметричного ряду вільновихрових насосів СВН.

Упродовж проведення експерименту передбачалося, що найбільш ефективним методом зниження вартості життєвого циклу насосної установки [1] з використанням вільновихрового насоса є дослідження впливу робочого органа на енергетичні якості насоса. Цей факт впливає на енергоефективність насосного обладнання з можливістю збільшення коефіцієнта корисної дії кожного з параметричного ряду насоса СВН.

Вільновихрові насоси СВН (рисунок 1) призначені для транспортування рідин із твердими абразивними домішками, рідин із волокнистими або легко ушкоджуваними речовинами, сумішей із піском, рідин із високою в'язкістю (до 50 сПз) та високим вмістом повітря чи газу, суспензій тощо.

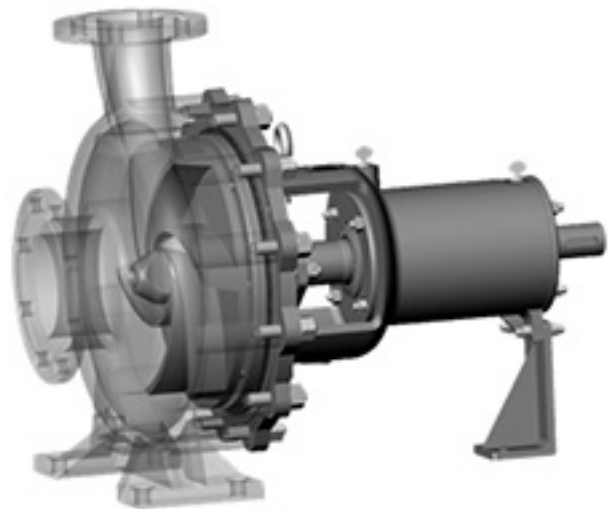


Рисунок 1 — Вільновихровий насос СВН

У роботі [2] запропоновано нове робоче колесо вільновихрового насоса, що має конструктивні особливості порівняно з базовим (рисунок 2).

Так, у базовому варіанті робочого колеса використано прямі плоскі лопаті з кутом установки, що дорівнює 80° (рисунок 2, а). Запропонований варіант нового робочого



а)



б)

Рисунок 2 — Конструкція робочого колеса:
а) базового, б) нового

колеса передбачає виконання профільованих лопатей із кутом установки на вході 33° , а на виході — 50° (рисунок 2, б)

Так, у базовому варіанті робочого колеса використано прямі плоскі лопаті з кутом установки, що дорівнює 80° (рисунок 2, а). Запропонований варіант нового робочого колеса передбачає виконання профільованих лопатей із кутом установки на вході 33° , а на виході — 50° (рисунок 2, б).

Для оцінювання результатів експериментального дослідження проведено порівняльний аналіз одержаних результатів для базового та нового робочих коліс, побудовано робочі характеристики.

Аналіз літературних даних

Методика проведення випробувань і побудова напірних та енергетичних характеристик динамічних насосів регламентуються стандартом [3].

Порівняння варіантів випробувальних стендів визначило напрямки можливих конструкцій стендів для дослідження насосів СВН.

Так, варіант експериментального стенда для дослідження турбомолекулярних насосів щодо забезпечення умов перекачування рідин із високою концентрацією газів наведений у роботі [4]. Для експериментальних досліджень відцентрово-вихрових ступенів насосів у роботах [5, 6] наведено розробку випробувального стенда. У роботі [7] запропоновано конструкцію експериментального стенда для моделювання гідродинамічних процесів у проточних частинах поворотно-лопатевої гідротурбіни. Експериментальне дослідження з використанням вільновихрового насоса з просторовим спіральним відводом розглянуто у роботі [8]. Конструкцію експериментального стенда для випробування теплових насосів наведено у роботі [9].

Мета і завдання дослідження

Метою роботи є проектування випробувального стенда для визначення основних параметрів, побудови робочих характеристик вільновихрового насоса, порівняння результатів фізичного та чисельного експериментів.

Для досягнення поставленої мети було поставлено такі завдання:

- розробити конструкцію випробувального стенда для проведення випробувань параметричного ряду вільновихрових насосів,
- забезпечити необхідну точність проведення фізичного експерименту,
- експериментально підтвердити адекватність результатів чисельного дослідження результатам фізичного експерименту.

Методи дослідження

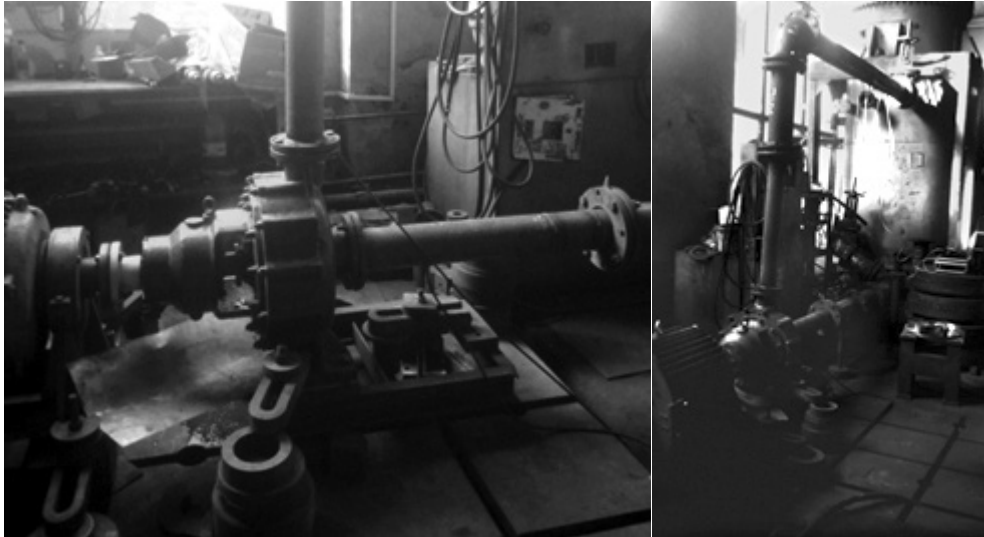
Для проведення досліджень розроблено випробувальний стенд із закритою циркуляцією рідини. Зовнішній вигляд стенда наведено на рисунках 3 а, б. Експериментальне дослідження проводили з використанням серійного вільновихрового насоса СВН 80/32.

Принципову схему випробувального стенда показано на рисунку 4. Склад стенда (таблиця 1) містить: експериментальний насос Н, електродвигун Д, обладнаний мотор-вагами, герметичний бак Б, основні й допоміжні трубопроводи, вимірювальна та керувальна апаратура.

Вимірювальну апаратуру для визначення основних параметрів і побудови напірної та енергетичної характеристик вільновихрового насоса зазначено в таблиці 2.

Рідина з бака Б надходить до насоса Н при відкритті засувки 5. Вентилі 7 і 9 використовуються для заповнення та зливання рідини з бака. Вентиль 8 призначено для випускання повітря з бака протягом його заповнення рідиною. Манометри 2 і 1 використовуються для визначення тиску в напірному і всмоктувальному трубопроводах відповідно.

Подача насоса регулюється за допомогою засувки 6. Витратомір ультразвуковий 4 призначений для визначення



а)

б)

Рисунок 3 — Зовнішній вигляд випробувального стенда

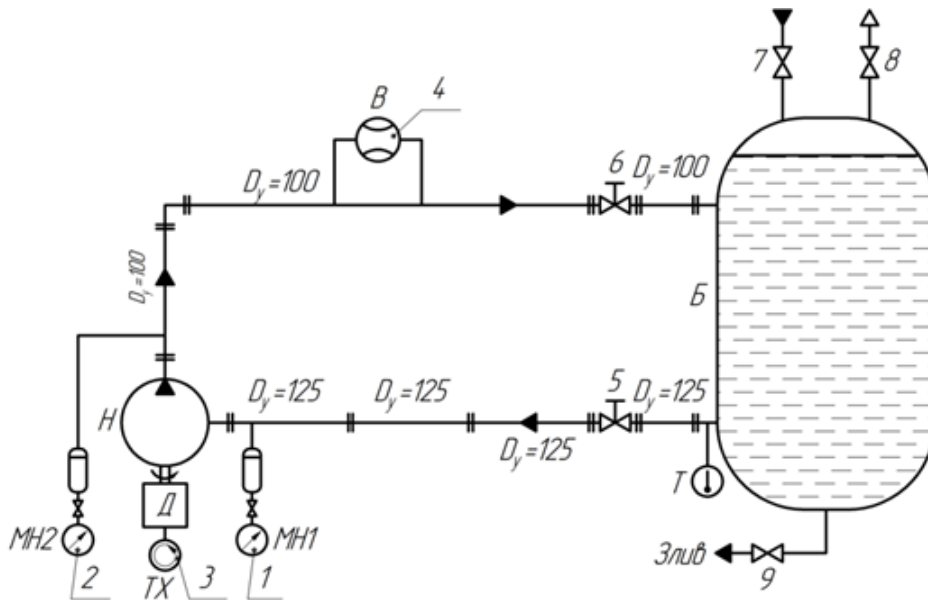


Рисунок 4 — Принципова схема випробувального стенда

подачі насоса. Похибка упродовж вимірювання подачі за допомогою ультразвукового витратоміру становить 0,5–1 % [10].

Крутний момент на валу електродвигуна 3 визначали з використанням мотор-вагів, установлених на електродвигуні. Зусилля на важелі мотор-вагів вимірювали із застосуванням гирь загального призначення класу Г-4-1111.10 [11]. Для визначення частоти обертання вал електродвигуна використовували тахометр ТХ.

Робочою рідиною упродовж експериментального дослідження згідно з [3] обрана вода згідно. Густина води

визначали відповідно до температури, яку вимірювали за допомогою термометра Т.

Методика визначення робочих параметрів насоса

Напіт насоса визначали за залежністю

$$H = 0,102 \cdot \frac{p_n - p_\varepsilon}{\rho} + 0,0827 Q^2 \left(\frac{1}{d_n^4} - \frac{1}{d_\varepsilon^4} \right), \quad (1)$$

де p_n, p_ε — покази манометрів на напірному та всмоктувальному трубопроводах, кгс/см^2 , ρ — густина рідини, Q — подача насоса, d_n, d_ε — внутрішні діаметри напірного

Таблиця 1 — Складові випробувального стенда

Позначення	Найменування	Кількість	Примітка
Б	Бак	1	$V = 10 \text{ м}^3$
В	Витратомір ультразвуковий	1	DMDF-P
Н	Насос	1	СВН 80/32
ТХ	Тахометр	1	ТЕСА 3740
Т	Термометр	1	Ртутний із ціною поділки $0,1^\circ \text{C}$
Д	Електродвигун із мотор-вагами	1	АІР225М4, $N = 55 \text{ кВт};$ $n = 1500 \text{ об/хв}$
5 – 6	Засувка	2	–
7 – 9	Вентиль	3	–
МН1 – МН2	Манометр МО	2	–

Таблиця 2 — Вимірювальна апаратура

Позн.	Вимірюваний параметр	Діапазон вимірювань	Вимірювальний прилад
1	Тиск на вході, <i>бар</i>	0–1	Манометр МО 1226. Клас точності – 0,15. ТУ 25-05-1664-74 Манометр МО 1226.
2	Тиск на виході, <i>бар</i>	0–4	Клас точності – 0,15. ТУ 25-05-1664-74
3	Частота обертання, <i>об/хв</i>	0–3000	Тахометр ТЕСА 3740
4	Подача, $\text{м}^3/\text{год}$	0–350	Витратомір ультразвуковий DMDF-P

та всмоктувального трубопроводів у місцях вимірювання тиску, м.

Потужність на валу електродвигуна, з використанням мотор-вагів визначали за залежністю

$$N = M_{кр} \frac{\pi n}{30} = \frac{\pi n l (F - F_0)}{3000}, \text{ кВт}, \quad (2)$$

де $M_{кр}$ — крутний момент на валу двигуна, n — частота обертання вала двигуна, l — довжина важеля, F — зусилля, що вимірюється на плечі важеля, F_0 — початкове зусилля на плечі важеля.

Довжина важеля становить $l = 1492$ мм. К.к.д. насоса визначали за залежністю

$$\eta = \frac{\rho g Q H}{N}, \quad (3)$$

де H — напір насоса, $g = 9,81$ м/с² — прискорення вільного падіння.

Оцінювання похибок проведеного експеримента

Розрахунок похибок вимірювання проведено з урахуванням випадкової та систематичної похибок

$$\sigma = \sqrt{\sigma_s^2 + \sigma_r^2}, \quad (4)$$

де σ_s — систематична похибка вимірювань, σ_r — випадкова похибка вимірювань.

Випадкову похибку вимірювань визначали за залежністю

$$\sigma_s = \sqrt{\sigma_A^2 + \sigma_O^2}, \quad (5)$$

де σ_A — похибка приладу, σ_O — похибка зчитування.

Випадкову похибку вимірювань визначали відповідно до теорії малих вибірок [12]. Для досягнення відносної похибки результатів не більше ніж 5% за довірчої ймовірності $\alpha = 0,95$ з урахуванням похибки Стьюдента на кінцеву кількість дослідів необхідно виконати не менше ніж 5 дослідів на одному рівні факторів.

Випадкова похибка вимірювань відповідно до [13] характеризується дисперсією відтворюваності

$$\sigma_r = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{y} - y_i)^2}{(n-1)n}}, \quad (6)$$

де \bar{y} — найбільш ймовірне значення вимірюваного параметра, y_i — значення i -го вимірювання, n — кількість вимірювань.

Найбільш ймовірне значення вимірюваного параметра визначали за формулою

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} \quad (7)$$

Похибку вимірювання оцінювали дисперсією відтворюваності

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{y} - y_i)^2}{n-1}}. \quad (8)$$

Довірчий інтервал для вимірюваних величин визначали за залежністю

$$\Delta \bar{y} = t_{\alpha, n} \sigma_R^2, \quad (9)$$

де $t_{\alpha, n}$ — коефіцієнт Стьюдента.

Значення вимірюваних величин зводили до вигляду

$$y = \bar{y} + \Delta \bar{y} \quad (10)$$

Відносну граничну похибку визначення подачі насоса обчислювали за формулою

$$\Delta Q = \sqrt{\delta Q^2 + \delta n^2}, \quad (11)$$

де δQ — відносна гранична похибка вимірювання подачі насоса, δn — відносна гранична похибка вимірювання частоти обертання вала електродвигуна.

Відносну граничну похибку вимірювання частоти обертання вала електродвигуна, %, визначали за залежністю

$$\delta n = \frac{\Delta n}{n} \cdot 100, \quad \%, \quad (12)$$

де Δn — абсолютна гранична похибка вимірювання частоти обертання вала.

Відносну граничну похибку вимірювання подачі насоса визначали за залежністю

$$\delta Q = \frac{\Delta Q}{Q} \cdot 100 \%, \quad (13)$$

де ΔQ — абсолютна гранична похибка вимірювання подачі насоса.

Абсолютну граничну похибку визначення напору насоса обчислювали за формулою

$$\Delta H = \sqrt{\delta H^2 + 4\delta n^2}, \quad (14)$$

де δH — відносна гранична похибка вимірювання напору насоса.

Відносну граничну похибку вимірювання напору насоса визначали за залежністю

$$\delta H = \frac{1}{H} \left[\left(\frac{0,102}{\rho} \right)^2 \left[(\delta_{p_n} p_n)^2 + (\delta_{p_s} p_s)^2 \right] + \left(\frac{0,102}{\rho} \right)^2 (p_n - p_s)^2 \delta \rho^2 + 0,1654^2 \left(\frac{1}{d_n^4} - \frac{1}{d_s^4} \right) Q^4 \delta Q^2 \right]^{1/2}, \quad (15)$$

де δ_{p_n} і δ_{p_s} — відносні граничні похибки манометрів на напірному і всмоктувальному трубопроводах, δ_ρ — відносна гранична похибка визначення густини рідини.

Похибку визначення споживаної потужності на валу насоса знаходили за залежністю

$$\Delta N = \sqrt{\left(\frac{100 \cdot \psi_F}{F} \right)^2 + 4\delta n^2 + \delta F^2 + \delta l^2}, \quad (16)$$

де ψ_F — поріг чутливості балансувальної машини, F — значення вимірюваного зусилля, δ_F — відносна гранична похибка вимірювання зусилля за допомогою вагів, δ_l — відносна гранична похибка вимірювання плеча важеля балансувальної машини.

Похибку визначення к.к.д. насоса знаходили за залежністю

$$\Delta \eta = \sqrt{\Delta N^2 + \Delta Q^2 + \Delta H^2} \quad (17)$$

Середньоквадратичну відносну похибку прямих та опосередкованих вимірювань визначали за формулою

$$\sigma_\varepsilon = \frac{\varepsilon}{2}, \quad (18)$$

де ε — відносна гранична похибка вимірюваного параметра.

Результати дослідження

Упродовж дослідження визначено математичне сподівання, середньоквадратичну похибку, дисперсію відтворюваності та довірчий інтервал із використанням базового (таблиця 3) і нового (таблиця 4) робочих коліс.

Протягом проведення фізичного експерименту з використанням нового робочого колеса відносна гранична похибка визначення подачі становила 1,32%, напору — 0,72%, потужності — 1,05%. Відносна гранична похибка вимірювання к.к.д. — 1,83%.

Таблиця 3 — Випадкові похибки вимірювання з використанням базового робочого колеса

Вимірюваний параметр	Абсолютний тиск на напірному трубопроводі p_n , кПа	Абсолютний тиск на всмоктувальному трубопроводі p_s , кПа	Подача Q , м ³ /ч	Частота обертання вала, об/хв
Вимірювана величина	488	189,1	81	1472
	486,4	187,9	80,2	1469
	488,9	189,3	80,5	1471
	490	191	79,4	1474
	485,7	187	79	1465
Математичне сподівання	487,8	188,86	80,02	1470,2
Середньоквадратична похибка	1,765	1,518	0,814	3,421
Дисперсія відтворюваності	0,789	0,679	0,364	1,530
Довірчий інтервал	1,744	1,290	0,371	6,552

Таблиця 4 — Випадкові похибки вимірювання з використанням нового робочого колеса

Вимірюваний параметр	Абсолютний тиск на напірному трубопроводі p_n , кПа	Абсолютний тиск на всмоктувальному трубопроводі p_s , кПа	Подача Q , м ³ /ч	Частота обертання вала, об/хв
Вимірювана величина	488	189,1	81	1472
	486,4	187,9	80,2	1469
	488,9	189,3	80,5	1471
	490	191	79,4	1474
	485,7	187	79	1465
Математичне сподівання	487,8	188,86	80,02	1470,2
Середньоквадратична похибка	1,765	1,518	0,814	3,421
Дисперсія відтворюваності	0,789	0,679	0,364	1,530
Довірчий інтервал	1,744	1,290	0,371	6,552

Таблиця 5 — Непрямі похибки вимірювання з використанням базового робочого колеса

№ пор.	Вимірюваний параметр	Середній рівень значення параметра	Відносна гранична похибка, %	Допустима гранична похибка, %
1	Подача Q , м ³ /с	0,0222	1,55	3,0
2	Напір H , м	33,5	0,56	3,0
3	Потужність N , Вт	18014	0,93	3,0
4	к.к.д. η , %	40,5	1,89	5,0

Таблиця 6 – Непрямі похибки вимірювання з використанням нового робочого колеса

№ пор.	Вимірюваний параметр	Середній рівень значення параметра	Відносна гранична похибка, %	Допустима гранична похибка, %
1	Подача Q , м ³ /с	0,0222	1,32	3,0
2	Напір H , м	30,5	0,72	3,0
3	Потужність N , Вт	14945	1,05	3,0
4	к.к.д. η , %	44,5	1,83	5,0

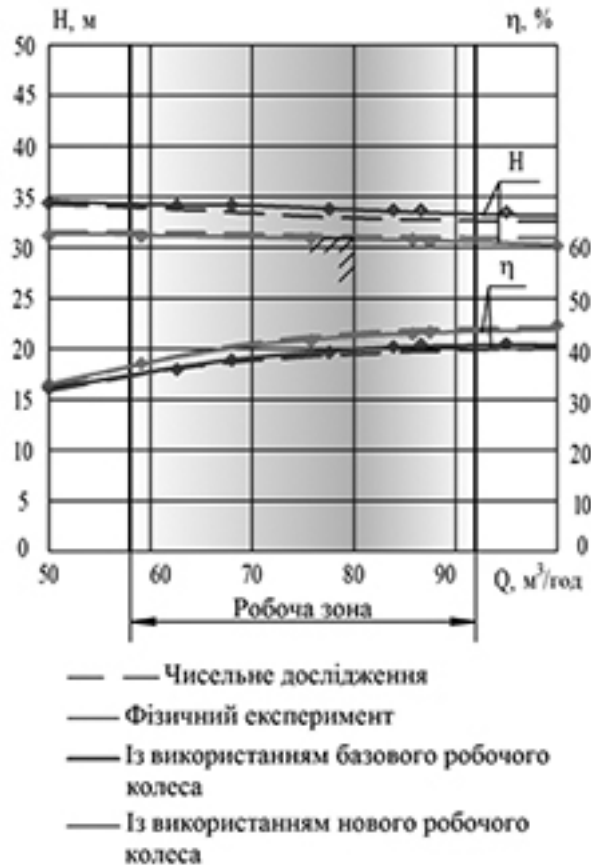


Рисунок 5 — Характеристики вільновихрового насоса СВН 80/32

Значення відносних граничних похибок вимірювання зазначених параметрів не перебільшувало значення допустимих граничних похибок. Таким чином, проведення фізичного експерименту цілком адекватне. Контрольно-вимірювальні засоби та методика проведення досліджень забезпечили необхідну точність проведення фізичного експерименту.

У результаті дослідження побудовано характеристики насоса з використанням базового і нового робочих коліс (рисунок 5). Для достовірності результатів чисельного експерименту порівняно з фізичним експериментом було досліджено насос СВН 80/32 з базовим робочим колесом. Чисельне дослідження проведене з використанням програмного забезпечення AnsysCFX [14].

На основі досліджень було встановлено відповідність результатів чисельного дослідження результатам фізичного експерименту, що підтверджується ідентичністю побудованих напірних та енергетичних характеристик. Різниця значень параметрів, одержаних у результаті чисельного дослідження та фізичного експерименту для однакових значень подачі насоса, не перебільшувала граничної похибки експериментальних методів досліджень.

Одержаний результат свідчить про адекватність проведення чисельного дослідження та можливість його використання під час дослідження інших насосів СВН із параметричного ряду.

За результатами чисельного дослідження для базового та нового робочих коліс досягнуто підвищення к.к.д. вільновихрового насоса з новим робочим колесом на 4–5%. Достовірність результатів чисельного експерименту та можливість упровадження нового робочого колеса вільновихрового насоса були підтверджені проведеними експериментальними дослідженнями на розробленому випробувальному стенді, що дозволило визначити доцільність конструктивної особливості запропонованого нового робочого колеса.

Висновки

1. Розроблено конструкцію випробувального стенда для проведення фізичного експерименту для параметричного ряду вільновихрових насосів.

2. Контрольно-вимірювальні засоби та методика проведення досліджень забезпечили необхідну точність проведення фізичного експерименту. Значення відносних

граничних похибок вимірювання параметрів насоса не перебільшувало значення допустимих граничних похибок.

3. Експериментально підтверджено адекватність результатів чисельного дослідження. Доведено, що метод чисельного дослідження з використанням програмного забезпечення AnsysCFX доцільно використовувати у наукових цілях. Різниця значень параметрів, одержаних у результаті чисельного дослідження й фізичного експерименту для однакових значень подачі насоса, не перебільшує граничної похибки експериментальних методів дослідження.

Література

1. Котенко, О.І. Обґрунтування доцільності вдосконалення конструкції робочого колеса вільновихрового насоса / О. І. Котенко, В. Ю. Кондусь // Наукові нотатки. — 2017. — №57. — С. 94—101.

2. Пат. 1288357 Україна, МПК F04D 29/34 (2006.01). Робоче колесо вільновихрового насоса / В.Ю. Кондусь, О.І. Котенко (Україна), заявник та патентовласник Сумський держ. ун-т. — № u201510522, заявл. 28.10.2015, опубл. 25.04.2016. Бюл. № 8.

3. ДСТУ ГОСТ 6134:2009 «Насоси динамічні. Методи випробування». — Введ. 2009-02-13. — К.: ДП «УкрНДНЦ», 2009. — 101 с.

4. Ханнанов, Р. Б. Экспериментальный стенд испытания турбомолекулярного насоса / Р. Б. Ханнанов // Вестник Казанского технологического университета. — 2011. — №18. — С. 335—337.

5. Створення експериментального стенда для дослідження робочого процесу самовсмоктувальних насосів / Л.М. Ніколаєнко, Р.В. Бойченко, О.І. Котенко, С.О. Лугова // Сучасні технології у промисловому виробництві: матеріали науково-технічної конференції викладачів, співробітників, аспірантів і студентів ф-ту технічних систем та енергоефективних технологій: у 2 ч. — Суми : СумДУ, 2013. — Ч.2. — С. 79.

6. Антоненко, С.С. Методика проведення експериментальних досліджень роботи відцентрово-вихрових ступеней на високов'язких рідинах / С.С. Антоненко, Е.В. Колісніченко, М.В. Найда // Вісник СумДУ. Серія «Технічні науки». — 2010. — №2. — С. 7—13.

7. Линник, А.В. Экспериментальный стенд ОАО «Турбоатом» для физического моделирования гидродинамических процессов в проточных частях поворотнолопастных гидротурбин / А.В. Линник, А.В. Рябов // Энергетическое машиностроение. — 2014. — №3. — С. 3—11.

8. Криштоп, И. В. Создание проточной части свободновихрового насоса повышенной энергоэффективности / И.В. Криштоп // Восточно-Европейский журнал

передовых технологий. — 2015. — №2. — С. 31—37.

9. A flexible and low cost experimental stand for air source heat pump for Smart Buildings / V. S. Craciun, C. Bojesen, M.B. Blarke, V. Trifa // Optimization of Electrical and Electronic Equipment (OPTIM), 2012, 13th International Conference on. — IEEE, 2012. — P. 1040—1045.

10. Чернов, Б.А. Погрешности ультразвуковых расходомеров от расширения и деформации трубопровода при перепадах температуры и давления транспортируемой жидкости / Б.А.Чернов // Вестник Алмаатинского ун-та энергетики и связи. — 2011. — №1(12). — С. 17—20.

11. ГОСТ 7328-82 «Меры массы общего назначения и образцовые. Технические условия». — Введ. 1984-01-01. — М.: Издательство стандартов, 1982. — 29 с.

12. Румшинский, Л.З. Математическая обработка результатов эксперимента / Л.З. Румшинский. — М.: Наука, 1971. — 192 с.

13. Тимошенко, Г.М. Теория инженерного эксперимента / Г.М. Тимошенко, П.Ф. Зима. — К.: УМКВО, 1991. — 124 с.

14. Котенко, О.І. Проектування робочого колеса вільновихрового насоса з криволінійним профілем лопаті з використанням методу чисельного дослідження / О.І. Котенко, В.Ю. Кондусь // Журнал інженерних наук. — 2016. — Т.3, №1. — С. В9—В16.

References

1. Kotenko, O.I. Obgruntuvannia dotsilnosti vdoskonalennia konstrukttsii robochogo koleasa vilnovykhrovogo nasosa / O.I. Kotenko, V. Yu. Kondus // Naukovi notatky. — 2017. — № 57. — S. 94—101.

2. Pat. 1288357 Ukraina, MPK F04D 29/34 (2006.01). Roboche koleso vilnovykhrovogo nasosa / V.Yu. Kondus, O.I. Kotenko (Ukraine), zaiavnyk ta patentovlasnyk Sums'kyi derzh. un-t. — № u201510522, zaiavl. 28.10.2015, opubl. 25.04.2016. Biul. № 8.

3. DSTU HOST 6134:2009 «Nasosy dynamichni. Metody vyprobuvannia». — Vved. 2009-02-13. — K.: DP «UkrNDNTs», 2009. — 101 s.

4. Khannanov, R.B. Eksperimentalnyi stend ispytaniya turbomolekulyarnogo nasosa / R. B. Khannanov // Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta. — 2011. — № 18. — S. 335—337.

5. Stvorennia eksperymentalnogo stenda dlia doslidzhenia robochogo protsesu samovsmoktuvalnykh nasosiv / L.M. Nikolaienko, R.V. Boichenko, O.I. Kotenko, S.O. Lugova // Suchasni tekhnologii u promyslovomu vyrobnytstvi: materialy naukovo-tekhnichnoi konferentsii vykladachiv, spivrobotnykiv, aspirantiv i studentiv f-tu tekhnichnykh system ta energoefektyvnykh tekhnologiy: u 2 ch. . — Sumy: SumDU, 2013. — Ch. 2. — S. 79.

6. Antonenko, S.S. Metodyka provedennia eksperymentalnykh doslidzhen roboty vidtsentrovo-vykhrovykh stupenei na vysokoviazkykh ridynakh / S.S. Antonenko, E.V. Kolisnichenko, M.V. Naida // Visnyk SumDU. Seriya «Tekhnichni nauky». — 2010. — № 2. — S. 7—13.

7. Linnik, A.V. Eksperimentalnyi stand OAO «Turboatom» dlya fizicheskogo modelirovaniya gidrodinamicheskikh protsessov v protochnykh chastyakh povorotno-lopatnykh gidroturbin / A. V. Linnik, A. V. Ryabov // Energeticheskoe mashinostroenie. — 2014. — № 3. — S. 3—11.

8. Krishtop I. V. Sozdanie protochnoy chasti svobodnovikhrevogo nasosa povyshennoy energoeffektivnosti / I. V. Krishtop // Vostochno-Evropeyskiy zhurnal peredoviy i tehnologiy. — 2015. — № 2. — S. 31—37.

9. A flexible and low cost experimental stand for air source heat pump for Smart Buildings / V. S. Craciun, C. Bojesen, M. B. Blarke, V. Trifa // Optimization of Electrical and Electronic Equipment (OPTIM), 2012, 13th International Conference on. — IEEE, 2012. — P. 1040—1045.

10. Chernov, B.A. Pogreshnosti ultrazvukovykh raskhodomerov ot rasshireniya i deformatsii truboprovoda pri perepadakh temperatury i davleniya transportiruemoi zhidkosti / B.A. Chernov // Vestnik Almaatinskogo universiteta energetiki i svyazi. — 2011. — № 1 (12). — S. 17—20.

11. GOST 7328-82 «Mery massy obshchego naznacheniya i obraztsovyie. Tekhnicheskie usloviya». — Vved. 1984-01-01. — M.: Izdatelstvo standartov, 1982. — 29 s.

12. Rumshinskiy, L.Z. Matematicheskay obrabotka rezultatov eksperimenta / L.Z. Rumshinskiy. — M.: Nauka, 1971. — 192 s.

13. Timoshenko G. M. Teoriya inzhenernogo eksperimenta / G.M. Timoshenko, P.F. Zima. — K.: UMKVO, 1991. — 124 s.

14. Kotenko, O.I. Proektuvannia robochogo kola vilnovykhrovogo nasosa z kryvoliniinym profilem lopati z vykorystanniam metodu chysel'nogo doslidzhennia / O.I. Kotenko, V. Yu. Kondus // Zhurnal inzhenernykh nauk. — 2016. — T.3—№1. — S. B9—B16.

Надійшла 12.01.2017 року

УДК 621.65

Экспериментальный стенд для исследования свободновихревых насосов

В.Ю. Кондусь,
О.И. Котенко

Мета. Збільшення вартості енергоресурсів вимагає від виробників підвищення енергоефективності (к.к.д.) насосного обладнання. Важливим етапом удосконалення насосних установок є проведення експериментального дослідження. Це дозволяє експериментально підтвердити результати досліджень і підготувати удосконалений елемент до впровадження. Метою роботи є проектування експериментального стенду для визначення робочих параметрів та побудови характеристик вільновихрового насоса.

Метод дослідження. Для проведення дослідження розроблено випробувальний стенд, що працює за схемою замкнутого контуру циркуляції води. У роботі розглянуто методику визначення робочих параметрів насоса і оцінки похибок проведеного експерименту.

Результати дослідження. Контрольно-вимірвальні засоби і методика проведення досліджень забезпечили необхідну точність проведення фізичного експерименту. Відносна гранична похибка не перебільшувала 1,89%, що знаходиться у межах допустимих граничних похибок.

Висновки. Експериментально підтверджена адекватність попередніх результатів чисельного дослідження. Доведено, що метод чисельного дослідження з використанням програмного забезпечення Ansys CFX допускається використовувати у наукових цілях.

Ключові слова: вільновихровий насос, СВН, робочі параметри, робочі характеристики, випробувальний стенд, фізичний експеримент.

UDC 621.65

Experimental stand to investigate the torque flow pumps

V.Y. Kondus,
A.I. Kotenko

Aim. Increase in the cost of energy requires manufacturers to rise the pump energy efficiency. Conduction of an experimental investigation is an important stage of the pumping installation improvement. This allows to confirm experimentally the results of the investigation and to prepare the improving element for implementation. The aim of this investigation is to design the experimental stand for determination of the operating parameters and construction of the torque flow pump characteristics.

Methods. For the research purposes, the test stand operating according to the closed water circulation circuit has been developed. The paper considers the method of determining the pump operating parameters and estimating the errors of the conducted experiment.

Results. Control-measuring means and methods of research conduction provided the necessary accuracy of the physical experiment. The relative marginal error does not

exaggerate 1.89 %, which is within the limits of permissible error margins.

Conclusions. The results of physical experiment confirm the adequacy of previous results of numerical investigation. This proves that the method of numerical research using the Ansys CFX software can be used for scientific purposes.

Keywords: torque flow pump, operating parameters, characteristics, test stand, physical experiment.