

УДК 621.65

**МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ
РОБОТИ ВІДЦЕНТРОВО-ВИХРОВИХ СТУПЕНЕЙ НА
ВИСОКОВ'ЯЗКИХ РІДИНАХ**

С.С. Антоненко, канд. техн. наук;
Е.В. Колісніченко, канд. техн. наук;
М.В. Найда, студент,
Сумський державний університет, м. Суми

У статті поданий опис дослідження доцільності використання відцентрово-вихрової ступені для підвищення напірності насосного обладнання, що працює на високов'язких рідинах. Подана гідравлічна схема експериментального стенда, а також методика проведення експериментального дослідження та оцінка похибок результатів вимірювання.

Ключові слова: відцентрово-вихрова ступінь насоса, гідравлічна схема, оцінка похибок.

В статті представлено описання дослідження целесообразности использования центробежно-вихровой ступени для повышения напорности насосного оборудования, работающего на высоковязких жидкостях. Представлены гидравлическая схема экспериментального стенда, а также методика проведения экспериментального исследования и оценка погрешностей результатов измерения.

Ключевые слова: центробежно-вихровая ступень насоса, гидравлическая схема, оценка погрешностей.

На сьогоднішній день достатньо актуальним є створення обладнання для перекачування високов'язких рідин. Науково-технічний прогрес сприяє виникненню вдосконалених механізмів та нових технологій. Одним з таких механізмів є створена на кафедрі прикладної гідроаеромеханіки (ПГМ) Сумського державного університету (СумДУ) відцентрово-вихрова ступінь (рис. 1), яка, маючи ті самі властивості, що і традиційні відцентрово-вихрові насоси, значною мірою позбавлена їх основних недоліків (незадовільна експлуатаційна надійність; значні осьові сили; низький ККД, максимальний ККД таких насосів не перевищує 45%).

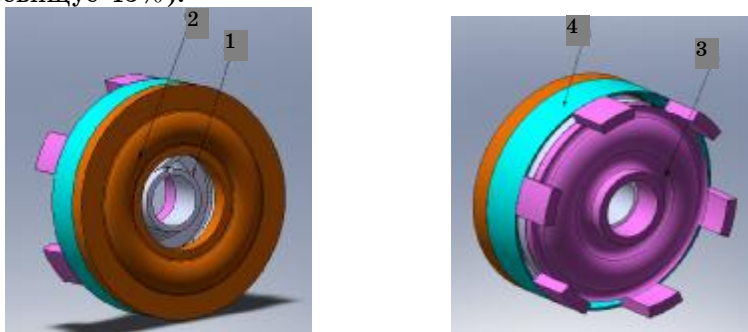


Рисунок 1 - Загальний вид ступені:

1 – РК; 2 - передня вихрова ступінь; 3 - задня вихрова ступінь; 4 – корпус РК

Основні характеристики ступені: діаметр на виході з робочого колеса $D_2 = 70\text{мм}$; діаметр на вході в робоче коло $D_0 = 33\text{мм}$; ширина ступені $b_2 = 38\text{мм}$.

Зазначена ступінь за своїм конструктивним виконанням належить до малорозмірного типу робочих органів динамічних насосів.

ОПИС ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО СТЕНДА Й ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ

Для вивчення особливостей роботи відцентрово-вихрових насосів на кафедрі ПГМ СумДУ створений експериментальний стенд, що дозволяє проводити енергетичні випробування даного типу насосних ступенів для вивчення впливу частоти обертання та в'язкості рідини, що перекачується, на їх робочі характеристики. Принципова гідралічна схема експериментального стенда подана на рис. 2. Умовне позначення елементів стенда подане в табл. 1.

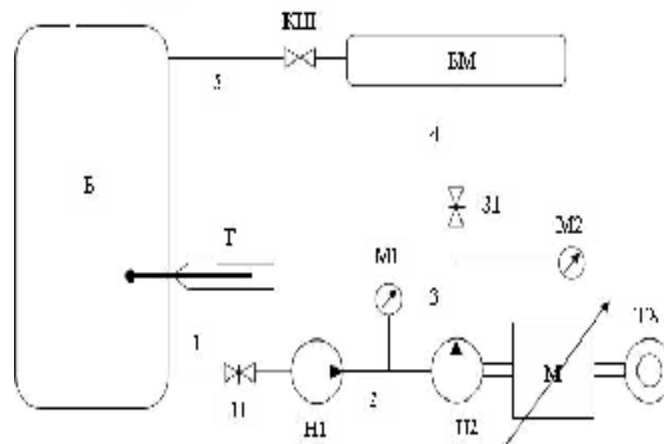


Рисунок 2 - Гідралічна схема експериментального стенда

Таблиця 1 - Умовні позначення елементів експериментального стенда

Умовн познач.	Назва	Кіл.	Примітка
1, 4	Лінії зв'язку	3	Dу 50
2, 3	- // -	2	Dу 32
5	- // -	2	Dу 100
Б	Бак основний	1	V=0,22 м ³
31, 32	Засувка	2	
Н1	Насос підпірний	1	
Н2	Насос експериментальний	1	
М	Мотор-ваги	1	Постійного струму
ТХ	Тахометр	1	
М1, М2	Манометр	2	
БМ	Бак мірний	1	V=0,09 м ³
КШ	Кран шаровий	1	
Т	Термометр	1	

Стенд працює за замкнутою схемою циркуляції робочої рідини, за яку взята вода та трансформаторне мастило. Рідина із бака Б, шляхом відкриття засувки З1, потрапляє в підпірний насос Н1. Він призначений для збільшення тиску на всмоктуючій лінії основного насоса Н2, для запобігання кавітації. Із насоса Н2 рідина подається в мірний бак БМ для визначення витрати рідини. Далі рідина потрапляє в основний бак Б. За привідний двигун взятий двигун постійного струму з регульованою частотою обертання 0 – 6000 об/хв. Для вивчення впливу в'язкості рідини на характеристику насосів у стенді передбачено під'єднання нагрівального елемента у вигляді ТЕНів.

Стенд дозволяє проводити параметричні випробування проточних частин насосів у діапазоні подач 0-200 м³/доб і напорів до 50 м. До основного обладнання стенду входять: головний бак місткістю 0,22 м³; експериментальний насос - балансувальний привідний двигун постійного струму потужністю 2 кВт з регульованою частотою обертання до 10000 об/хв; допоміжний насос, бак мірний місткістю 0,09 м³ для об'ємного способу вимірювання витрати рідини, вимірювальна апаратура і пульт управління, а також система трубопроводів із запірно-регулюючою арматурою. Регулювання подачі експериментального насоса здійснюється засувкою на напірному трубопроводі. Допоміжний насос встановлений послідовно перед експериментальним насосом. Він створює додатковий підпір на вході цього насоса з метою усунення кавітації в досліджуваних ступенях при високій частоті обертання його ротора. Експериментальна установка дозволяє проводити випробування одно- і чотириступінчастих збірок вибраних для вивчення насосних ступенів.

Вимірювальна апаратура забезпечує можливість зняття енергетичних характеристик досліджуваної ступені відповідно до існуючих вимог [2]. До складу комплексу вимірювальних приладів входять:

- балансувальна машина постійного струму для вимірювання крутного моменту на валу насоса;
- манометр пружинний класу точності 0,4 з межею вимірювання 0-2,5 МПа для вимірювання тиску у вхідному патрубку експериментального насоса;
- зразковий пружинний манометр класу точності 0,4 з межею вимірювання 0-6 МПа для вимірювання тиску в напірній лінії експериментального насоса;
- тахометр електронний ТЕСА класу точності 0,1 для вимірювання частоти обертання ротора експериментального насоса;
- гирі загального призначення 4-го класу Г-4-1111.10 для вимірювання зусилля на плечі балансувальної машини;
- термометр ртутний класу точності 0,1 з межею вимірювань 0-1000°С для вимірювання температури робочої рідини в системі;
- секундомір механічний СОС пр-26-2-010 з межею вимірювання 60 хв для вимірювання часу заповнення мірного бака.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ ЧАСТИНИ ВИПРОБУВАННЯ

У цілому методика проведення випробувань вибраного ряду насосних ступенів після зняття їх енергетичних характеристик відповідає відпрацьованим і поданим рекомендаціям в [1-6]. Далі відмічені тільки загальні положення у визначенні величин, необхідних для визначення експериментальних залежностей $H = f(Q)$, $N = f(Q)$, $\eta = f(Q)$.

Подача Q , м³/с, визначається за формулою

$$Q = \frac{V}{t} \cdot \left(\frac{n_n}{n_m} \right),$$

де V - експериментально виміряний об'єм робочої рідини, м³;
 t - час заповнення мірного бака, с.

Напір експериментального насоса H , м, обчислюється за показаннями манометрів, що вимірювали тиск у вхідному і вихідному мірних перерізах:

$$H = \left[\frac{\left(\frac{P_n \cdot P_2}{n_{2m}} - \frac{P_e \cdot P_1}{n_{1m}} \right) \times 10^4}{\rho} + \frac{u_n^2 - u_e^2}{2 \cdot g} \right] \cdot \left(\frac{n_n}{n_m} \right)^2,$$

де P_e, P_n - показання манометрів тиску у всмоктувальному і нагнітальному трубопроводах, поділ;

P_1, P_2 - граничний вимірюваний тиск манометрів у всмоктувальному і нагнітальному трубопроводах відповідно, МПа;

n_{1m}, n_{2m} - кількість поділок манометрів на всмоктувальному і нагнітальному трубопроводах відповідно, поділ.;

u_e, u_n - швидкості потоку робочої рідини у всмоктувальному і нагнітальному трубопроводах відповідно, м/с;

Швидкість потоку u , м/с, визначається за формулою

$$u = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot d^2},$$

де d - діаметр мірного перерізу у всмоктувальній (нагнітальній) лініях, м.

Потужність на валу експериментального насоса N , Вт, визначається за допомогою балансувальної машини і розраховується за формулою:

$$N = \left(F_p \cdot l_p \cdot \frac{\pi \cdot n}{30} \right) \cdot \left(\frac{n_n}{n_m} \right)^3,$$

де F_p - зусилля на плечі важеля, Н;

l_p - довжина важеля балансувальної машини, м.

Довжина важеля $l_p = 0,432$ м знайдена за методикою, розробленою Науково-дослідним інститутом атомного і енергетичного насособудування (ВНІИАЭН).

ККД дослідної ступені η_{cm} , %, визначається за формулою

$$\eta_{cm} = \frac{981 \cdot \rho \cdot Q \cdot H_{cm}}{N_{cm}}.$$

При побудові робочих характеристик динамічних насосів зручним є використання співвідношення безрозмірних коефіцієнтів напору (ψ),

потужності (μ), подачі (φ) і ККД до безрозмірних коефіцієнтів цих параметрів у точці максимального ККД ($\psi_0, \mu_0, \varphi_0, \eta_0$):

$$\psi = \frac{2gH}{u_2^2},$$

$$\varphi = \frac{4Q}{\pi D_2^2 u_2},$$

$$\mu = \frac{\varphi\psi}{\eta} = \frac{8N}{\rho\pi D_2^2 u_2^3 \eta},$$

де g – прискорення вільного падіння, 9,81 м/с²;

u_2 – колова швидкість робочого колеса.

ОЦІНКА ПОХИБОК РЕЗУЛЬТАТІВ ВИМІРЮВАНЬ

Розрахунок похибок результатів вимірювання буде проводитися відповідно до [2,3].

Відносна гранична похибка вимірювання частоти обертання δn , %, визначається за формулою

$$\delta n = \frac{100 \cdot \Delta n}{n},$$

де Δn - абсолютна гранична похибка вимірювання частоти обертання, об/хв.

Абсолютна гранична похибка вимірювання частоти обертання визначається як сума похибки тахометра і граничної похибки вимірювання.

Гранична відносна похибка вимірювання δQ , %, обчислюється за формулою [3]

$$\delta Q = \Delta Q \cdot \frac{Q_{\Pi}}{Q_{ОП}}, \%$$

де ΔQ_{Π} - абсолютна гранична похибка вимірювального приладу, %;

Q_{Π} - граничне значення вимірюваної величини, м³;

$Q_{ОП}$ - дослідне значення вимірюваної величини, м³.

Гранична відносна похибка визначення подачі ΔQ , %, обчислюється за формулою

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

де δt - відносна похибка вимірювання часу заповнення мірного бака, %, при цьому обчислення δt проводиться за формулою:

$$\delta t = \frac{\Delta t_{\Pi} \cdot 100}{t_{ОП}},$$

де Δt_{II} - абсолютна гранична похибка вимірювання часу, с;

t_{OII} - дослідне значення вимірюваної величини, с.

Через рівність діаметрів всмоктувального і нагнітального патрубків, а також рівність рівнів положення вимірювальних манометрів, граничну відносну похибку вимірювання напору можна виразити через межі вимірювання манометрів і їх класів точності. Для умов експерименту, що проводиться, динамічна складова напору порівняно мала.

Відповідно формула для визначення відносної граничної похибки ΔH , %, обчислення напору на підставі залежності (визначення напору) і згідно з [3] така:

$$\Delta H = \frac{1}{H_{OII}} \sqrt{\frac{P_2^2 \cdot \delta P_2^2 + P_1^2 \cdot \delta P_1^2}{\rho^2} + H_{OII}^2 \cdot (\delta \rho^2 + 4\delta n^2)},$$

де $\delta P_1, \delta P_2, \delta \rho$ - відносні похибки вимірювань відповідно тиску на вході і на виході з експериментального насоса і щільності робочої рідини %;

H_{OII} - дослідне значення напору, м.

Відносна похибка вимірювання споживаної потужності на валу експериментального насоса ΔN , %, визначається за формулою [3]:

$$\Delta N = \sqrt{\left(\frac{100 \cdot F_{\psi}}{F_p}\right)^2 + \delta F_p^2 + \delta l^2 + 4\delta n^2},$$

де F_{ψ} - поріг чутливості балансувального двигуна, Н;

$\delta F, \delta l$ - відносні граничні похибки вимірювань відповідно зважувального пристрою і плеча важеля балансувального двигуна, %.

Відносна гранична похибка визначення ККД досліджуваного ступеня $\Delta \eta$, %, обчислюється за формулою [3]:

$$\Delta \eta = \sqrt{\Delta N^2 + \Delta Q^2 + \Delta H^2},$$

Середньоквадратичні відносні похибки непрямих вимірювань σ_{ε} , %, визначається за формулою [3]:

$$\sigma_{\varepsilon} = \frac{\Delta}{2},$$

де Δ - відносна гранична похибка визначуваного параметра, %.

ВИСНОВОК

За допомогою експериментального дослідження можна отримати реальну картину роботи відцентрово-вихрових ступеней. Лише експеримент може дати повне уявлення доцільності використання динамічних насосів з відцентрово-вихровими ступенями як альтернатива заглибним насосам, а можливо, і розширити сферу їх використання.

SUMMARY

THE METHODOLOGY FOR EXPERIMENTAL STUDIES OF CENTRIFUGAL-VORTEX STEPS IN HIGHLY VISCOUS LIQUIDS

*S.S. Antonenko, E.V. Kolisnichenko, M.V. Naida,
Sumy State University, Sumy*

The article presents the description of expediency of using a centrifugal-vortex stage in order to increase the delivered head of pump equipment that treats high viscous media.

A hydraulic scheme of the experimental rig as well as a technique of experimental research and evaluation of inaccuracy of measurement results are presented.

Key words: *centrifugal-vortex stage, pump equipment, inaccuracy of measurement.*

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Горгиджян С.А. Погружные насосы для водоснабжения и водопонижения / С.А. Горгиджян, А.И. Дягилев. - Л.: Машиностроение, 1968. - 112 с.
2. ГОСТ 6134-87. Насосы динамические, методы испытаний. - Введ.01.01.89. - М.: Изд-во стандартов, 1988. - 29 с.
3. Яременко О.В. Испытания насосов: справочное пособие / О.В. Яременко. - М.: Машиностроение, 1976. - 225 с.
4. Повх И.Л. Аэродинамический эксперимент в машиностроении / И.Л. Повх. - Л.: Машиностроение, 1974. - 480 с.
5. Лабораторный курс гидравлики, насосов и гидропередач: учебн. пособие для машиностроит. вузов / под ред. С.С. Руднева, Л.Г. Подвиза. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1974. - 416 с.
6. Некрасов П.А. Автоматизированный стенд для получения рабочих характеристик погружных нефтедобывающих насосов / П.А. Некрасов // Вестник Пермского государственного технического университета. - 2002. - С.64 - 69.

Надійшла до редакції 30 квітня 2010 р.