



УДК 621.67:532.5

ДОСЛІДЖЕННЯ ГІДРОДИНАМІЧНИХ ТА ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ СТРУМИННО-ВИХРОВОГО НАСОСА

А.О. Капустянський¹, О.Г. Юрасова², Ю.В. Рудак³

¹кандидат технічних наук, старший викладач кафедри теплоенергетики, теплових та атомних електростанцій, e-mail: kapustyansky@gmail.com

²кандидат технічних наук, старший викладач кафедри теплоенергетики, теплових та атомних електростанцій, e-mail: oksana.h.yurasova@lpnu.ua

³студент групи ТЕ-31, e-mail: yurii.rudak.te.2023@lpnu.ua

^{1,2,3}Національний університет «Львівська політехніка», Львів, Україна

Анотація. У роботі розглянуто експериментальне дослідження енергетичних та гідродинамічних характеристик струминно-вихрового насоса (СВН) при роботі на одно- та двофазних робочих середовищах типу «газ-тверда фаза». Дослідження спрямовані на оцінку ефективності передачі енергії потоку та визначення впливу робочого середовища на продуктивність та коефіцієнт корисної дії насоса.

Ключові слова: струменево-вихровий насос, однофазні робочі середовища, двофазні робочі середовища, коефіцієнт корисної дії, масові витрати, гідродинамічні характеристики, універсальна характеристика насоса.

ANALYSIS OF HYDRODYNAMIC AND ENERGY PARAMETERS OF A JET-VORTEX PUMP

Andrii Kapustianskyi¹, Oksana Yurasova², Yurii Rudak³

¹PhD (Engineering), Senior Lecturer, Department of Thermal Power Engineering, Thermal and Nuclear Power Plants, e-mail: kapustyansky@gmail.com

²PhD (Engineering), Senior Lecturer, Department of Thermal Power Engineering, Thermal and Nuclear Power Plants, e-mail: oksana.h.yurasova@lpnu.ua

³Student of group TE-31, e-mail: yurii.rudak.te.2023@lpnu.ua

^{1,2,3}Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

Abstract. This article presents an experimental study of the energy and hydrodynamic characteristics of a jet-vortex pump (JVP) operating with single-phase and two-phase working media of the “gas–solid” type. The research is aimed at evaluating the efficiency of energy transfer within the flow and determining the influence of the working medium on the pump performance and efficiency.

Keywords: jet-vortex pump, single-phase working media, two-phase working media, efficiency, mass flow rates, hydrodynamic characteristics, universal pump characteristic.

Вступ. У сучасній гідродинаміці струменевого-вихрові насоси (СВН) залишаються ефективними універсальними пристроями для перекачування однофазних та двофазних середовищ завдяки відсутності рухомих механічних елементів, що забезпечує підвищену надійність та довговічність у порівнянні з традиційними насосами [1, 2]. Ефективність таких насосів значною мірою визначається внутрішньою структурою потоку, характером вихрових зон, співвідношенням основного та вторинного потоків і геометрією робочої камери [2, 3].

Чисельні дослідження показують, що формування вихорів у камері змішування впливає як на масоперенос, так і на енергетичну ефективність СВН. Наприклад, при низьких значеннях коефіцієнта ежекції спостерігається утворення вторинних вихорів між шаром зсуву та стінками насоса, що призводить до зниження ККД [4]. Подібні результати підтверджують важливість врахування турбулентних структур та режимів течії при оптимізації гідродинамічної конструкції насосів [5].

Особливо складними є процеси у двофазних системах типу «газ-тверда фаза», де взаємодія фаз, формування турбулентних зон і змінні профілі швидкостей впливають на продуктивність та втрати енергії. Дослідження показують, що вторинні вихори та розподіл твердих часток у вихрових камерах безпосередньо визначають масові витрати та ККД [4, 5]. Це підкреслює необхідність комплексних експериментальних досліджень, які можуть надати емпіричні дані для практичного проектування та оптимізації СВН.

Сучасні роботи міжнародних дослідників включають як CFD моделювання, так і експериментальні випробування струменевих насосів, що дозволяє оцінювати вплив геометрії, довжини змішувальної камери, кута дифузора та співвідношення площ на енергоефективність та продуктивність [2, 3]. Особливо важливими є дослідження взаємодії часток з основним потоком у багатофазних насосах, що дозволяє передбачати поведінку СВН при перекачуванні суспензій та шламів [1, 5].

Незважаючи на наявність значної кількості робіт, більшість досліджень обмежується окремими аспектами однофазної роботи або вузькими параметрами конструкції. Комплексні експериментальні дослідження струменевого-вихрового насоса при різних режимах роботи, зокрема для систем «газ-тверда фаза», залишаються недостатньо висвітленими, що визначає актуальність та наукову новизну даного дослідження.

Мета роботи Оцінюється робота струменево-вихрового насоса (СВН) на однофазних (газових) та багатофазних («газ-тверда фаза») середовищах. Аналізується вплив параметрів подачі та геометрії вихрової камери на продуктивність і коефіцієнт корисної дії насоса, досліджується поведінка твер-

дих часток у вихровій камері та масові втрати при перекачуванні багатозначних потоків. Це дозволяє оптимізувати конструкцію СВН і сформулювати універсальну характеристику для проектування промислових систем транспортування одно- та багатозначних середовищ.

Матеріал і результат досліджень. Конструкція струминно-вихрового насоса (СВН) відрізняється від класичної тим, що тангенціальні канали входу та виходу вихрової камери розташовані співвісно, а осьовий канал всмоктування перекачуваного середовища знаходиться у верхній кришці. Така схема дозволяє ефективно використовувати кінетичну енергію основного потоку та зменшувати гідравлічні перешкоди на виході (рис. 1).

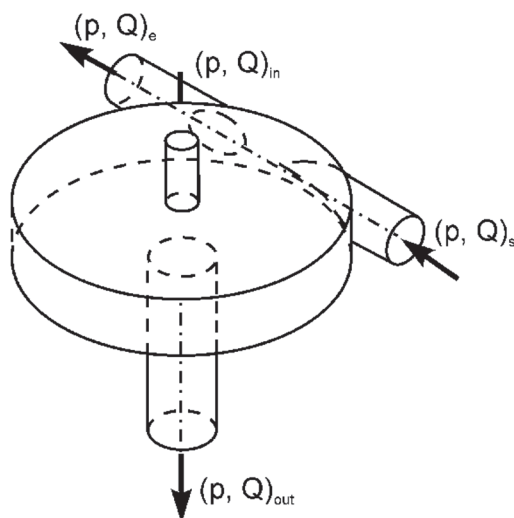


Рис. 1. – Схема струминно-вихрового насосу

Під час експериментів СВН потік надходив через тангенціальний канал у вихрову камеру змішування і виходив через осьовий канал (рис. 2).

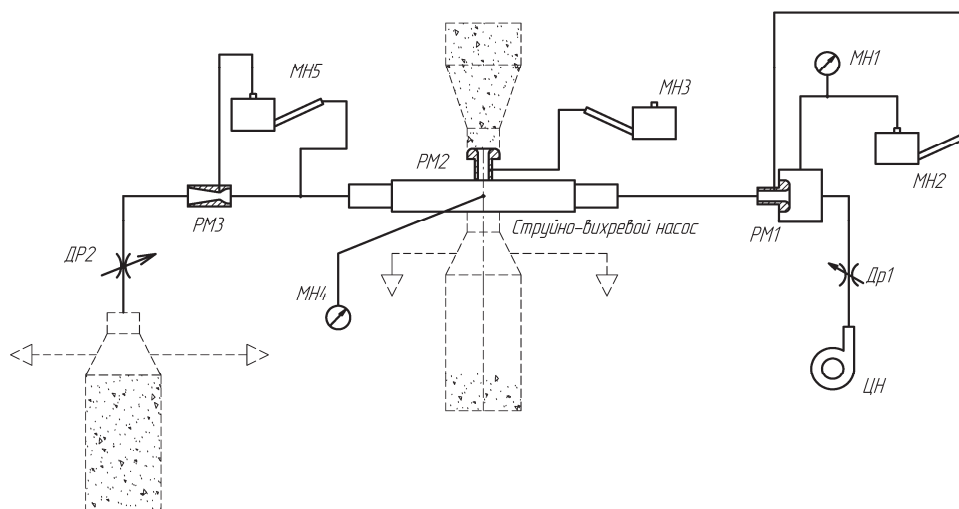


Рис. 2. – Схема експериментальної установки

Тиск у тангенціальних каналах подачі та виходу визначався чашковими манометрами МН1 і МН4, а температура повітря у каналах і навколишнього середовища вимірювалася ртутними термометрами. Ємності для сипких матеріалів у другому типі випробувань показані штриховими лініями на рис. 2. Для оцінки робочих характеристик насоса на сипких середовищах масові витрати визначалися об'ємним методом, тоді як для газоподібних середовищ вони розраховувалися за відповідними формулами.

$$Q_i = (\mu f)_{pi} \sqrt{\frac{2 \Delta p_{pi}}{\rho}}; \quad (1)$$
$$Q_{out} = Q_s + Q_{in} - Q_e,$$

де Q_i – об'ємні витрати Q_s , Q_{in} , Q_e ; $(\mu f)_{pi}$, $(\mu f)_{pi}$ – ефективна площа витратомірів РМ1, РМ2 і РМ3 відповідно; Δp_{pi} , – перепад тиску на витратомірах РМ1, РМ2 і РМ3 відповідно; ρ – густина повітря перед витратомірами. Швидкість потоку була такою, що можна було не враховувати стисливість повітря, отже, $\rho = const$.

Розрахунок коефіцієнта корисної дії струйно-вихревого насоса проводився за співвідношенням:

$$\eta = \frac{N_e}{N_s} = \frac{p_e + \frac{\rho}{2} V_e^2}{p_s + \frac{\rho}{2} V_s^2} \left(\frac{Q_e}{Q_s} \right) \quad (2)$$

де N_e , N_s – потужність вихідного та подаючого потоків відповідно; V_e , V_s – швидкості газу в тангенціальних каналах виходу і подачі відповідно.

На рис. 3 представлена характеристика струминно-вихревого насоса, отримана шляхом регулювання дроселем у вихідному каналі.

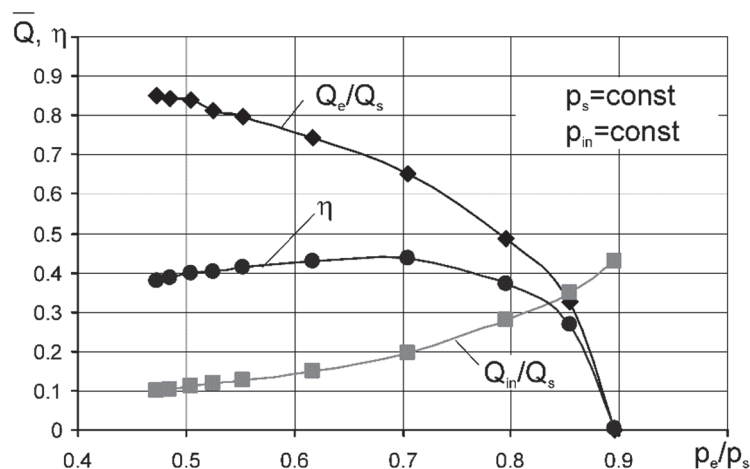


Рис. 3. – Характеристика СВН при роботі з нестискуваним середовищем

Характеристика насоса демонструє залежність відносних витрат вихідного та перекачаного потоків, а також коефіцієнта корисної дії від відносного тиску на виході. Випробування проводилися при тисках подачі 5, 7 та 10 кПа. Незалежно від рівня тиску спостерігалось збігання характеристик по відносних витратах і ККД, що дозволяє представити результати у вигляді універсальної характеристики $Q=f(p)$.

Як видно з рис. 3, для нестиснуваного середовища максимальний ККД досягає понад 40 % у зоні $0,7 p_e/p_s$. Зі збільшенням відношення тиску на виході до тиску на вході p_e/p_s відносна витрата на виході зменшується, тоді як перекачувана витрата зростає. На рис. 4 показано, що підвищення тиску подачі приводить до зростання всіх масових витрат газу.

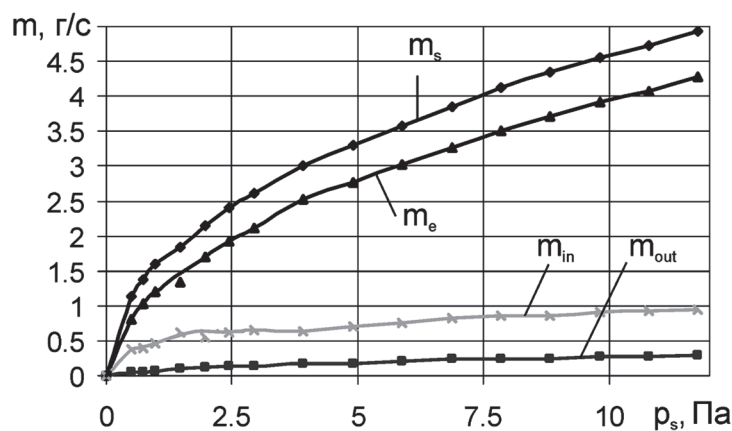


Рис.4. - Залежність продуктивності СВН від тиску подачі

Апроксимація залежностей масових витрат, показаних на рис. 4, виконувалася з метою отримання рекомендацій при розрахунку насосів.

$$\begin{aligned}
 m_s &= 1,47\sqrt{p_s}; & m_{in} &= 0,084\sqrt{p_s}; \\
 m_e &= 1,243\sqrt{p_s}; & m_{out} &= 0,311\sqrt{p_s};
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

Аналіз експериментальних даних показав, що конструкція струминно-вихрового насоса (СВН) із співвісними тангенціальними каналами входу та виходу й осьовим каналом всмоктування у верхній кришці забезпечує високий ККД на нестиснуваному середовищі, що перевищує 40 % у зоні оптимального співвідношення тисків на виході та вході (рис. 3). Це пояснюється ефективним використанням кінетичної енергії основного потоку та мінімізацією гідравлічних втрат завдяки співвісному розташуванню каналів. Отримані результати узгоджуються з даними [6], де показано, що оптимізація конфігурації вихрових камер підвищує ККД і стабільність роботи насосів.

Дослідження масових витрат газового середовища при тисках подачі 5, 7 і 10 кПа показали зростання витрати на виході та загальної продуктивності зі збіль-



шенням тиску (рис. 4). Спостережене явище відповідає автоматодинамічному режиму при числах Рейнольдса понад $3 \cdot 10^4$ [7]. Це підтверджує правильність геометрії вихрової камери та її здатність забезпечувати оптимальний розподіл швидкостей, що збігається з висновками [8] щодо зменшення локальних втрат і підвищення ефективності енергопередачі між потоками.

Висновки. Розроблена конструкція струминно-вихрового насоса з співвісними тангенціальними каналами входу та виходу й верхнім осьовим каналом забезпечує ефективне використання кінетичної енергії основного потоку. Для однофазного газового середовища максимальний коефіцієнт корисної дії перевищує 40 % при відносному тиску на виході 0,7, що підтверджує переваги вихрових камер. При перекачуванні двофазних середовищ («газ-тверда фаза») масові витрати зростають із підвищенням тиску подачі, а втрати матеріалу зменшуються, демонструючи стабільність і передбачуваність роботи насоса. Отримані результати свідчать про високий потенціал конструкції для ефективного перекачування однофазних і багатофазних потоків у промислових умовах.

ЛІТЕРАТУРА

1. Fan, H., & Wu, D. (2024). Numerical investigation on vortex characteristics inside a jet pump under low entrainment ratio conditions. *Flow Measurement and Instrumentation*. <https://doi.org/10.1016/j.flowmeasinst.2024.102800> (дата звернення: 09.04.2026).
2. Panevnyk, D. O. (2021). Investigation of hydraulic characteristics of a downhole jet pump. *Journal of Hydrocarbon Power Engineering*, 8(1), 1–7. [https://doi.org/10.31471/2311-1399-2021-1\(15\)-1-7](https://doi.org/10.31471/2311-1399-2021-1(15)-1-7) (дата звернення: 09.04.2026).
3. Liu, M., Long, Y., Zheng, Y., Zhong, J., & Yin, H. (2024). Research on the comparison of the flow evolution mechanisms of a water-jet pump between valley and peak conditions. *Journal of Marine Science and Engineering*, 12(12), 2352. <https://doi.org/10.3390/jmse12122352> (дата звернення: 09.04.2026).
4. Li, X., Chen, Y., & Zhang, H. (2021). Design and performance analysis of vortex jet pumps. *Applied Thermal Engineering*, 190, 116790. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2021.116790> (дата звернення: 09.04.2026).
5. Kim, J., Lee, S., & Park, C. (2020). Experimental investigation of multiphase vortex pumps. *Journal of Fluids Engineering*, 142(10), 101102. <https://doi.org/10.1115/1.4047259> (дата звернення: 09.04.2026).
6. Panevnyk, D. O. (2021). Investigation of hydraulic characteristics of a downhole jet pump. *Journal of Hydrocarbon Power Engineering*, 8(1), 1–7. [https://doi.org/10.31471/2311-1399-2021-1\(15\)-1-7](https://doi.org/10.31471/2311-1399-2021-1(15)-1-7) (дата звернення: 09.04.2026).
7. Chudyk, I. I., & Panevnyk, D. O. (2025). Determination of the characteristics of a well jet pump in the conditions of swirling mixed flows. *Oil and Gas Power Engineering*, 1(43), 32–40. [https://doi.org/10.31471/1993-9868-2025-1\(43\)-32-40](https://doi.org/10.31471/1993-9868-2025-1(43)-32-40) (дата звернення: 09.04.2026).
8. Oleksandr, M., & Petrova, N. (2018). Particle dynamics in swirling flows. *Chemical Engineering Research and Design*, 131, 289–299. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2018.02.012> (дата звернення: 09.04.2026).