

УДК 621.22:621.694

Вплив тиску в каналі всмоктування на характеристики вихорокамерних насосів

Роговий А.С.¹; Нескорожений А.О.², Лук'янець С.І.¹, Азаров А.С.¹

1-Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна

2- Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків, Україна

Анотація. Збільшення тиску в каналі всмоктування струминних насосів дозволяє покращити показники витрати або тиску на виході з насоса за рахунок можливого погіршення ККД. Серед нагнітачів струминного типу вихорокамерні насоси (ВКН) є найменш дослідженими та перспективними щодо перекачування різноманітних рідин та твердих середовищ. На сьогодні, досліджень щодо зміни показників роботи ВКН у залежності від тиску в каналі всмоктування ще не проводилося. Метою роботи є визначення впливу тиску в каналі всмоктування на характеристики ВКН. Дослідження проведено числовим шляхом вирішенням осереднених за Рейнольдсом рівнянь Нав'є-Стокса. Вперше на основі аналітичних досліджень отримані залежності зміни основних інтегральних параметрів роботи ВКН від надлишкового тиску в каналі всмоктування. Збільшення надлишкового тиску в каналі всмоктування дозволяє збільшити максимальну витрату всмоктування на 44 %.

Ключові слова: вихорокамерний насос; тиск всмоктування; числове моделювання; характеристики; ефективність.

Збільшення надлишкового тиску в каналі всмоктування струминних насосів дозволяє збільшити дальність можливого транспортування різноманітних речовин [1]. Основною перевагою струминних насосів є можливість перекачування будь-яких середовищ за збереження показників надійності та довговічності з дуже низьким впливом зношування абразивними частинками [2]. Тому, в пневматичному та гідравлічному транспорті використовують бункери та ємності для створення підпору [3]. Вихорокамерні насоси є струминними насосами, в яких реалізована одночасна передача енергії в полі відцентрової сили та за рахунок турбулентного обміну [4]. Таким чином, до турбулентного обміну, який притаманний струминним насосам, додається використання відцентрової сили подібно до відцентрових турбомашин.

Загалом ВКН мають значно вищу ефективність перекачування сипучих середовищ

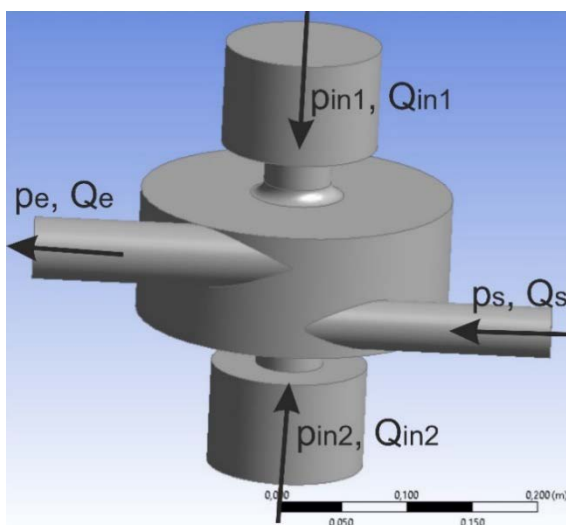


Рис. 1. Розрахункова схема ВКН

порівняно з прямоточними струминними насосами. У ВКН можуть бути реалізовані два робочих процеси [5]. Ці робочі процеси відрізняються енергетичними параметрами на виході з насоса і реалізуються зміною геометричних параметрів двох основних каналів: тангенціального каналу на виході з насоса і тангенціального каналу на вході (схема насоса наведена на рис. 1). ВКН складається з вихрової камери і чотирьох вхідних і вихідних каналів: двох осьових всмоктувальних каналів і двох тангенціальних вхідного та вихідного. Позитивний вплив відцентрової сили дозволяє розраховувати на підвищення ККД струминного насоса зі збільшенням гідравлічної енергії вихідного потоку. Це підтверджено теоретичними дослідженнями та експериментальними характеристиками [6].

Метою роботи є визначення впливу тиску в каналі всмоктування на характеристики ВКН. Дослідження проведено в спеціалізованому комплексі прикладних програм OpenFoam [7]. Підтверджено адекватність моделювання на основі порівняння результатів розрахунку з експериментальними даними шляхом порівняння тисків, витрат та ККД. Рівняння математичної моделі представляли рівняння Нав'є-Стокса осереднені за Рейнольдсом, рівняння Релея-Плессета для дослідження руху газової фази у рідині, рівняння нерозривності та рівняння SST моделі турбулентності [8]. Під час дослідження проведено аналіз чутливості рішення до сіткового розбиття. Вирішення рівнянь здійснено у стаціонарній постановці і процес вирішення закінчувався коли нев'язання рівнянь досягали значень 10^{-5} , крім того обов'язковою умовою закінчення розрахунку вважалося досягнення стабільної витрати у всіх каналах (витрата не змінювалася за ітераціями протягом 100 ітерацій). Загалом процес вирішення потребував приблизно 3000 ітерацій.

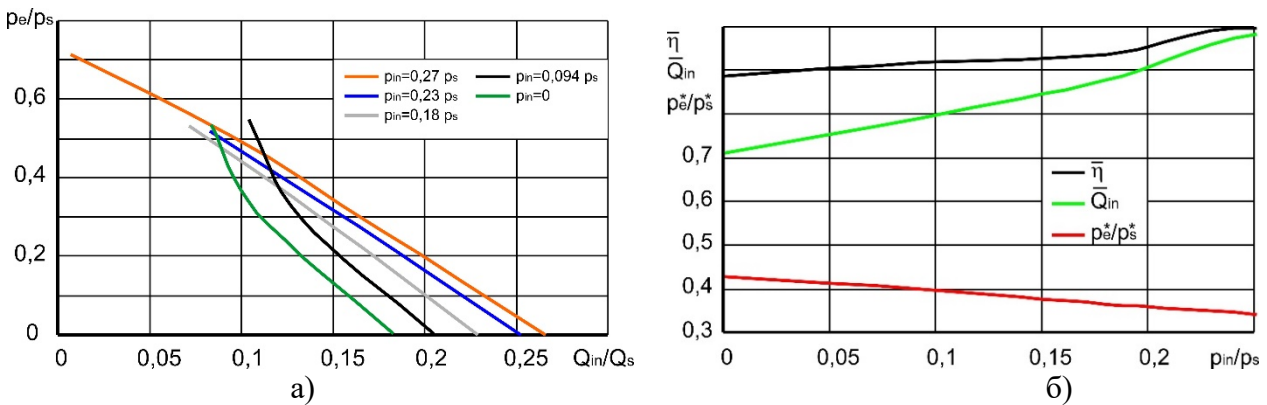


Рис. 2. Характеристики ВКН за різного тиску всмоктування: а) залежність тиску на виході з насоса від коефіцієнта витрати; б) відносні тиск, витрата та ККД в залежності від відношення тиску

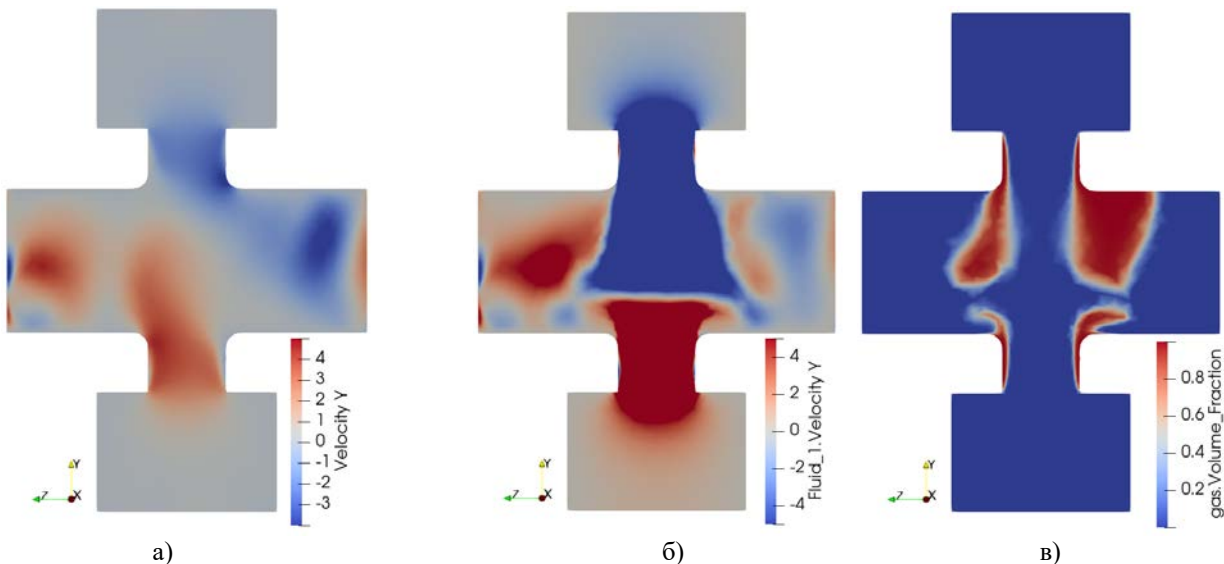


Рис. 3. Розподіл швидкостей нафти (а, б) та концентрації газу у вихровій камері (с) під час перекачування нафти з розчинним в ній повітрям

ККД серійного промислового насоса прямооточного струминного типу НСФБ 39/45 приблизно 3%. Отриманий ККД вихорокамерного насоса більше ніж в 2,5 рази перевищує ККД НСФБ 39/45, крім того, внаслідок використання вихрової камери, загальний габаритний розмір насоса зменшено більше ніж в 3 рази.

На рис. 3а, б наведено розподіли швидкостей нафти у проточній частині насоса. Якщо у випадку розрахунку без урахування кавітації (рис. 3а) картина всмоктування загалом симетрична відносно горизонтальної площини, то у випадку розрахунку з моделлю кавітації (рис. 3б) можна відзначити симетричність картини течії й відносно горизонтальної площини.

Висновки

На основі числового моделювання течії в ВКН досліджено вплив тиску в каналі всмоктування на характеристики насоса.

Виявлено вплив урахування рівнянь Релея-Плессета на кінематичні параметри руху газу у вихровій камері ВКН.

Під час збільшення тиску всмоктування відбувається лінійне зменшення відносного корисного тиску на виході з насоса в режимах відсутності статичного тиску на виході. Також, відбувається практично лінійне зростання витрати всмоктування але з більшим кутом нахилу характеристики, що приводить до збільшення відносного ККД.

Виявлено, що ККД ВКН перевищує ККД серійного промислового насосу прямооточного струминного типу в 2,5 рази, загальний габаритний розмір насоса зменшено більше ніж в 3 рази.

Список літератури

1. Rogovyi, A. Energy performances of the vortex chamber supercharger. *Energy*, 163, 52-60, 2018.
2. Rogovyi, A., Korohodskiy, V., Neskorozenyi, A., Hrechka, I., & Khovanskyi, S. Reduction of Granular Material Losses in a Vortex Chamber Supercharger Drainage Channel. In *Advances in Design, Simulation and Manufacturing V: Proceedings of the 5th International Conference on Design, Simulation, Manufacturing: The Innovation Exchange, DSMIE-2022, June 7–10, 2022, Poznan, Poland–Volume 2: Mechanical and Chemical Engineering* (pp. 218-226). Cham: Springer International Publishing, 2022.
3. Klinzing, G. E. A review of pneumatic conveying status, advances and projections. *Powder technology*, 333, 78-90, 2018.
4. Rogovyi, A., Neskorozenyi, A., Krasnikov, S., Tynyanova, I., & Khovanskyi, S. Improvement of Vortex Chamber Supercharger Performances Using Slotted Rectangular Channel. In *Advanced Manufacturing Processes IV: Selected Papers from the 4th Grabchenko's International Conference on Advanced Manufacturing Processes (InterPartner-2022), September 6-9, 2022, Odessa, Ukraine* (pp. 552-561). Cham: Springer International Publishing, 2022.
5. Syomin, D., & Rogovyi, A. Mathematical simulation of gas bubble moving in central region of the short vortex chamber. *Teka Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa*, 12(4), 2012.
6. Rogovyi A., Voronova Ye. Comparative analysis of performance characteristics of jet vortex type superchargers. *Avtomobil'nyy transport*. issue 38, pp. 93–98, 2016.
7. Domfeh, M. K., Gyamfi, S., Amo-Boateng, M., Andoh, R., Ofosu, E. A., & Tabor, G. Numerical simulation of an air-core vortex at a hydraulic intake using OpenFOAM. *Scientific African*, 8, e00389.2020.
8. Li, L., Xu, W., Jiang, B., Li, X., & Zhu, Z. A multiscale Eulerian–Lagrangian cavitating flow solver in OpenFOAM. *SoftwareX*, 21, 101304. 2023.

Influence of pressure in the suction channel on the characteristics of vortex chamber pumps

Rogovyi A., Neskorozenyi A., Lukianets S., Azarov A.

Abstract. Increasing the pressure in the suction channel of jet pumps allows for improved indicators of flow or pressure at the exit from the pump due to the possible deterioration of the efficiency. Among jet-type superchargers, vortex chamber pumps (VCP) are the least researched and promising for pumping various liquids and solid media. To date, no studies have been carried out on the change in VCP performance depending on the pressure in the suction channel. The purpose of the work is to determine the influence of the pressure in the suction channel on the characteristics of the VCP. The study was carried out numerically by solving the Reynolds-averaged Navier-Stokes equations. For the first time, on the basis of analytical studies, the dependences of changes in the main integral parameters of VCP operation on gauge pressure in the suction channel were obtained. Increasing the gauge pressure in the suction channel allows for increasing the maximum suction flow rate by 44%.

Keywords: vortex chamber pump; suction pressure; numerical simulation; characteristics; efficiency