

УДК 621.22:621.694

**Зміна параметрів роботи вихорокамерного нагнітача під час вимірів його характеристик****Роговий А.С.<sup>1</sup>, Нескорожений А.О.<sup>2</sup>**

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

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

***Анотація.** Експериментальні дослідження характеристик гідравлічних машин та гідропневмоагрегатів можуть бути не достатньо точними за рахунок впливу вимірювального інструменту на характеристики потоку. Особливо гостро ця проблема стоїть під час вимірювання характеристик закручених течій та пристроїв на їх основі. Для отримання достовірних розподілів тиску та швидкості течії у вихорокамерному нагнітачі необхідно було виявити розмір вимірювального інструменту та його вплив на енергетичні характеристики нагнітача. Шляхом математичного моделювання на основі вирішення рівнянь Рейнольдсу, моделі турбулентності SST досліджено зміну параметрів роботи вихорокамерного нагнітача під час вимірів його характеристик, а також проведено порівняння результатів з результатами вимірювань параметрів незбуреної течії у нагнітачі. Встановлення вимірювального інструмента в торцевій кришці вихрової камери призводить до зменшення витрати середовища, що всмоктується насосом через нижній осьовий канал.*

***Ключові слова:** вихорокамерний нагнітач; вимірювальний інструмент; чисельне моделювання; характеристики; вимірювання швидкості*

Отримання інформації щодо характеристик роботи будь-якого гідропневмоагрегата або гідравлічної машини потребує комбінації трьох підходів щодо дослідження: аналітичного, експериментального та моделювання за допомогою обчислювальних методів [1]. Внаслідок значних погрішностей моделювання аналітичного та числового, експериментальне стає єдиним, що може указати на правдиві результати. Але, під час експериментальних досліджень, часто виникає проблема впливу вимірювальної апаратури на об'єкт вимірювання, зокрема на течію рідини або газу в замкнутих або відкритих просторах [2]. Одним з найкращих щодо похибок вимірювання є оптичний метод вимірів характеристик течії, але висока вартість вимірювальної апаратури, що використовується під час досліджень оптичним методом, приводить до того, що дослідники в якості перших інструментів для вимірів намагаються обрати більш дешеві та класичні трубки Піто [2, 3].

Дослідженню методик аерогідромеханічних експериментів присвячена досить велика кількість робіт [2-4]. Зазвичай ці методики не враховують впливу інструменту вважаючи його незначним, або таким, що уникнути спотворень неможливо. Обтікання інструменту в прямолінійних потоках можливо розглядати як задачу обтікання циліндру. Ця задача вирішена в багатьох роботах [5] та зроблений висновок, що обтікання інструменту має вплив на характеристики потоку, але інтегрально цей вплив незначний. З іншого боку, обтікання циліндру у закрученій течії може привносити деякі збурення у течію, що може погіршувати енергетичні інтегральні характеристики пристроїв, які використовують закручену течію: вихрові труби, вихрові клапани, вихорокамерні нагнітачі, циклони та ін. [6, 7].

Вихорокамерні нагнітачі (ВКН) (рис. 1) – це нагнітачі, в яких робочий процес реалізований на основі комбінування робочих процесів відцентрового і прямоточного

струминного насосів [8]. Струминні насоси мають низькі показники енергоефективності перекачування, що спонукає шукати шляхи поліпшення ККД струминної техніки шляхом пошуку можливих комбінацій робочих процесів і використання відцентрової сили. ВКН мають значно більш високі показники надійності та довговічності, у порівнянні з лопатевими насосами, й значно більш високу ефективність перекачування сипучих середовищ, у порівнянні з класичними прямоточними струминними насосами [9].

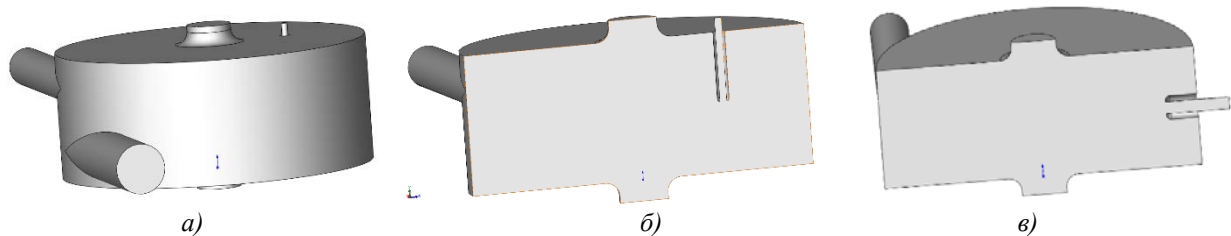


Рис. 1. Модель вихорокамерного нагнітача різним положенням вимірювального інструменту: а – модель нагнітача; б – інструмент у торцевій кришці; в – інструмент на боковій поверхні

Метою даної роботи є дослідження зміни параметрів роботи вихорокамерного нагнітача під час вимірів його характеристик за допомогою вимірювального інструменту, а також порівняння результатів, одержуваних при вимірах, з параметрами незбуреного потоку в нагнітачі. Прогнозування можливої помилки експерименту дозволить коректно вибрати розмір вихрової камери насоса для проведення експериментальних досліджень.

Методологія досліджень складалася з двох етапів: 1) моделювання течії в модельному насосі; 2) порівняння характеристик течії, а також значень швидкості і тиску в точках установки вимірювального інструменту.

У даній роботі математична модель складалася з рівнянь Нав'є-Стокса осереднених за Рейнольдсом, рівняння нерозривності і рівнянь SST-моделі турбулентності [10]. Для мінімізації похибки визначення вакууму біля осі обертання використано виправлення на кривизну ліній струму та обертання потоку для SST-моделі турбулентності [11]. Розрахунок виконано в пакеті прикладних програм OpenFoam.

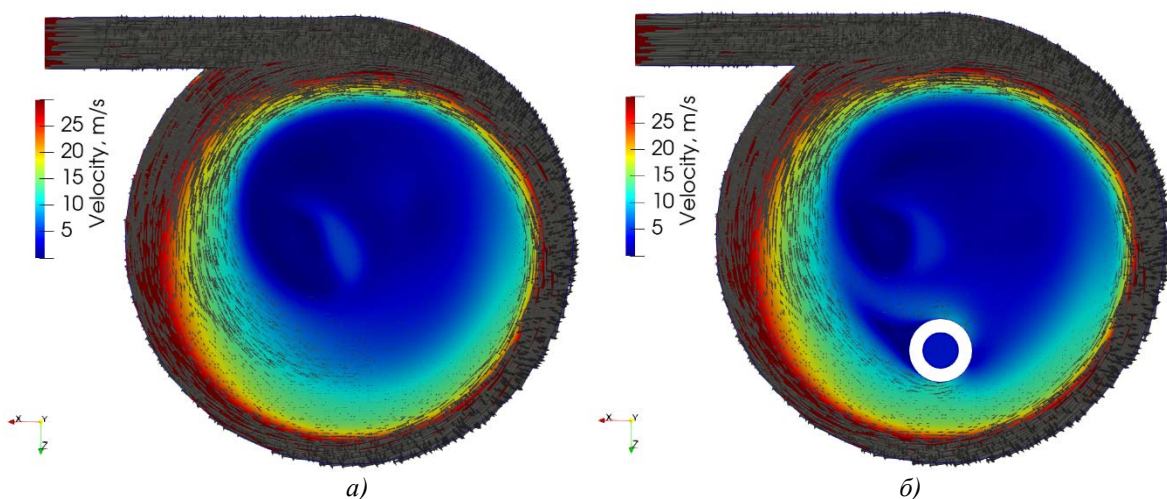


Рис. 2. Розподіл швидкості в нагнітачі в горизонтальній площині, проведений на відстані 0,5 діаметра горла вихрової камери: а - без інструменту; б - з інструментом  $\bar{d} = 1.0$

Граничні умови: вхідний канал – завдавався повний тиск; два осьових канали – відкрита границя з нульовим відносним статичним тиском; вихідний канал – нульовий відносний статичний тиск; тверді стінки – умова прилипання з нульовою швидкістю; вхідний канал, що імітує вимірювальний інструмент – відкрита границя зі статичним тиском, що дорівнював тиску всередині вихрової камери, який визначався в процесі розрахунку. Робоча рідина – вода.

Досліджені відносні розміри інструменту:  $\bar{d} = 1.0; 0.75; 0.5; 0.25; 0.125$ . Розміри віднесені до діаметра горла вихрової камери. Очевидно, що найбільший вплив буде надавати максимальний з розглянутих розмірів інструменту. Тому на рис. 2 наведено порівняння картин течії в насосі з інструментом і без в різних площинах. Розподіл швидкостей в вихровій камері характерний для обтікання круглого циліндра (Рис. 2б). Установка вимірювального інструмента в торцевій кришці вихрової камері призводить до зменшення витрати, що всмоктується насосом через нижній осьовий канал. Крім того, помітно дроблення вихору на верхній торцевій кришці, що призводить до невеликого зниження вакууму поблизу осі.

На рис. 3 показано зміну основних енергетичних показників насоса в залежності від відносного діаметра вимірювального інструмента. Крім того, на графік нанесені значення швидкості і тиску, які їм виміряні. Можна бачити, що практично всі показники залишаються незмінними, і спостерігається зменшення тиску в точці вимірювання близько 10%. Аналізуючи графік можна прийти до висновку, що розмір інструмента практично не впливає на енергетичні характеристики ВКН. Для забезпечення точності вимірювання слід забезпечувати співвідношення розмірів вихрової камери і інструменту так, щоб відносний діаметр інструмента не перевищував 0,25 діаметра горла вихрової камери. Параметри роботи ВКН, наведені на рис. 3:  $\bar{V}$  – відносна швидкість в точці вимірювання;  $\bar{p}$  – відносний тиск в точці вимірювання;  $\bar{\eta}$  – відносний ККД насоса;  $(\bar{Q}_{in}/Q_s)$  – відносний коефіцієнт витрати (ежекції) насоса [12-14]. Всі параметри віднесені до параметрів роботи насоса без вимірювального інструмента.

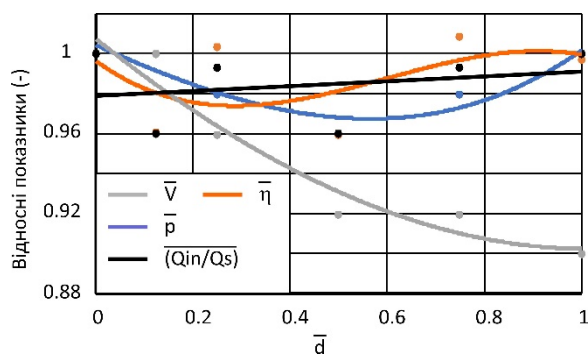


Рис. 3. Залежність показників роботи ВКН від відносного розміру вимірювального інструмента

інструмента в торцевій кришці вихрової камери призводить до зменшення витрати, що всмоктується насосом через нижній осьовий канал.

3. Розмір інструменту практично не впливає на енергетичні характеристики ВКН. Для забезпечення точності вимірювання слід забезпечувати співвідношення розмірів вихрової камери і інструменту так, щоб відносний діаметр інструмента не перевищував 0,25 діаметра горла вихрової камери.

4. Розташування інструменту на бічній поверхні вихрової камери неприпустиме внаслідок значного погіршення енергетичних показників роботи ВКН, що вказує на значні похибки вимірів.

**Висновки** На основі чисельного моделювання течії в вихорокамерному нагнітачі досліджено зміну параметрів роботи вихорокамерного нагнітача під час вимірів його характеристик, а також проведено порівняння результатів з результатами вимірювань параметрів незбуреної течії у нагнітачі.

1. Розподіл швидкостей в вихровій камері характерний для обтікання круглого циліндра.

2. Встановлення вимірювального

## Список літератури

1. Роговий А.С. Вплив вимірювального інструменту на характеристики вихорокамерного насосу / Роговий А.С., Нескорозжений А.О. // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2021. – № 4 (268). – С. 88-93.
2. Повх И.Л. Аэродинамический эксперимент в машиностроении. Л.: Машиностроение, 1974. 480 с.
3. Rogovyi, A. S. Influence of the measuring tools on the flow characteristics in vortex chamber pump / A. S. Rogovyi, A. O. Neskorozhnyi // Автомобільний транспорт : зб. наук. пр. / М-во освіти і науки України; ХНАДУ; редкол.: А. В. Гнатів (гол. ред.) та ін. - Харків, 2021. - Вип. 48. - С. 86-92.
4. Коваленко А.О., Сьомін Д.О., Роговий А.С. Планування та обробка результатів випробувань гідропневмосистем: Навчальний посібник. Луганськ: Вид-во СХУ ім. В. Даля, 2011. 216 с.
5. Zhou Xiao, JinJun Wang, Ye Hu. Experimental investigation on the flow around a circular cylinder with upstream splitter plate. Journal of Visualization, 2019. Vol. 22.4, pp. 683-695.
6. Сьомін Д.О. Вплив закручення потоку, що перекачується, на енергетичні характеристики вихрекамерних насосів / Д.О. Сьомін, А.С. Роговий, А.М. Левашов. // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Серія: Гідрравлічні машини та гідроагрегати. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2016. – № 20 (1192) – С. 68-71.
7. Сьомін Д.О. Вплив умов входу середовища, що перекачується, на енергетичні характеристики вихрекамерних насосів / Д.О. Сьомін, А.С. Роговий. // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Серія: Гідрравлічні машини та гідроагрегати. – Х.: НТУ «ХПІ». – 2015. – № 3 (1112) – С. 130-136.
8. Роговой А.С. Концепція створення вихорокамерних нагнітачів та принципи побудови систем на їх основі / А.С. Роговий А.С. // Вісник СХУ ім. В. Даля. – Сєверодонецьк: Вид-во Східноукр. нац. ун-ту ім. В. Даля. - №3 (233). – 2017. – С. 168-173.
9. Сьомін Д.О. Вихорокамерні нагнітачі: монографія / Д.О. Сьомін, А.С. Роговий –Харків: ФОП Мезіна В.В., 2017. – 204 с.
10. Сємин Д.А. Верификация расчетов течений в вихрекамерных устройствах. / Сємин Д.А., Роговой А.С., Левашов А.М., Левашов Я.М. // Вісник НТУУ "КПІ". Сер. Машинобудування, 2016. – № 2 (77). – С. 71-78.
11. Rogovyi, A. Influence of Bingham fluid viscosity on energy performances of a vortex chamber pump. / Rogovyi, A., Korohodskiy, V., Medvediev, Ye. // Energy – Vol. 218. – 2021. – 119432.
12. Коваленко А.А. Основы научных исследований (планирование экспериментов): монография / Коваленко А.А., Роговой А.С., Сємин Д.А. – Луганск: изд-во ВХУ им. В. Даля, 2010. – 210 с.
13. Evdokimov, O. A., Piralishvili, S. A., Veretennikov, S. V., Guryanov, A. I. CFD Simulation of a Vortex Ejector for Use in Vacuum Applications. In Journal of Physics: Conference Series. 2018. Vol. 1128, No. 1, P. 012127.
14. Роговий, А. С. Особливості режимів роботи вихорокамерних нагнітачів / А. С. Роговий // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета [Текст] : сб. науч. тр. / Харьк. нац. автомоб.-дор. ун-т ; [ редкол.: Богомолов В. А. (глав. ред.) и др.]. – Харьков : ХНАДУ, 2016. – Вып. 75. – С. 120–128.

## Changing the parameters of vortex chamber supercharger during the measurement of its characteristics

Rogovyi A., Neskorozhnyi A.

**Abstract:** *Experimental studies of the hydraulic machines and hydropneumatic units characteristics may not be accurate enough due to the influence of the measuring instrument on the flow characteristics. This problem is especially acute when measuring the characteristics of swirling flows and devices based on them. To obtain reliable pressure distributions and flow velocities in the vortex chamber supercharger, it was necessary to identify the size of the measuring instrument and its effect on the supercharger performances. By mathematical modeling based on the RANS equations with SST turbulence model solutions, the change in the parameters of the vortex chamber supercharger during the measurement of its characteristics was investigated, and the results were compared with the results of undisturbed flow parameters measurements. Mounting a measuring instrument in the end cap of the vortex chamber reduces the flow rate of the medium sucked by the pump through the lower axial channel.*

**Keywords:** *vortex chamber supercharger; measuring instrument; numerical simulation; characteristics; velocity measurement*