

УДК 621.547

## ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ВИХРОВОГО ЕЖЕКТОРУ

Роговий А.С., Єрмоленко В.В.

### EFFECTIVENESS INCREASE OF THE VORTEX EJECTOR

Rogovyi A., Jermolenko V.

*На основі числового вирішення математичної моделі отримано залежності ККД, коефіцієнта ежекції та вакууму біля осі вихрової камери вихрового ежектора. Розрахунок конструкції вихрового ежектора зі спіральним відводом показав, що застосування спірального відводу приводить до зниження ККД в 1,5 рази, внаслідок втрат енергії вихідного потоку в спіральному відводі, пов'язаному із закрученням потоку, та його відривом від стінок. Дослідження зроблено шляхом виконання числового експерименту на основі вирішення рівнянь Нав'є-Стокса, осереднених за Рейнольдсом для нестисливої рідини, отриманих з використанням узагальненої гіпотези Бусінеска, що пов'язує напруги Рейнольдса з осередненими параметрами потоку. Для розрахунку течії прийнята модифікована двошарова SST-модель.*

**Ключові слова:** вихровий ежектор, математичне моделювання, спіральний відвід, числові методи, ефективність.

**Постановка проблеми.** Сучасний рівень розвитку енергетики й технологій висуває високі вимоги до якості процесів процесів енерго- та масообміну, що протікають в них [1]. У багатьох галузях промисловості: харчова, металургійна, енергетика, сільське господарство й транспорт існує проблема підвищення ефективності процесів перетворення енергії, особливо при дотриманні умов економічності, компактності й надійності. Задоволенню багатьох з перерахованих вимог можуть служити газові й рідинні енергообмінні системи, створені на основі струминної техніки [1-4], що володіють високими показниками надійності й довговічності. А використання властивостей закручених потоків - вакууму в приосевій зоні й надлишкового тиску на периферії потоку [1-3, 5-7], дозволяє створювати компактні системи. Нагнітачі, створені на основі струминної техніки володіють високими показниками надійності та довговічності, які в кілька разів перевершують відповідні показники інших нагнітачів, насосів та компресорів лопатевого та об'ємного типів [8-10]. Класичні прямооточні струминні насоси та ежектори мають досить великі повздовжні габаритні розміри,

що не дозволяє їх компонувати в деяких компактних системах [3, 11]. Вирішити цю проблему можливо за рахунок використання вихрових пристроїв таких як вихрові ежектори.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Вихровий ежектор при малих габаритах і простоті конструкції одержав поширення в перерахованих вище видах промисловості, однак, незважаючи на накопичені теоретичні й експериментальні дані про його роботу [3, 6, 7, 11, 12], на даний момент залишаються питання енергетичної ефективності використання таких нагнітачів, що вимагають додаткових досліджень. Крім того, ежектори вихрового типу мають низький коефіцієнт корисної дії, що не перевищує 10 % [3, 6, 12]. У публікаціях [3, 6, 7, 11, 12] практично відсутня інформація щодо залежностей ККД вихрового ежектора в залежності від його геометричних розмірів.

Таким чином, удосконалення енергетичних характеристик струминних нагнітачів є актуальним завданням, рішенням якого може бути поліпшення гідродинаміки вихрової камери та вихідного спірального дифузора, що повинно привести до підвищення ККД таких вихрових пристроїв.

**Мета.** Метою роботи є підвищення енергетичної ефективності вихрового ежектору за рахунок удосконалення гідродинамічних особливостей течії рідини у вихровій камері та у вихідному спіральному дифузурі.

**Результати досліджень.** Уперше вихровий ежектор був створений групою дослідників на чолі з М.Г. Дубінським [6]. Він (рис. 1) працює в такий спосіб: потік, що ежекує, через сопловий вхід 2 надходить у камеру 1, де утворюється обертовий потік із областю зниженого тиску біля осі вихрової камери. У цю область через трубку 3 всмоктується потік, що перекачується. Суміш, яка утворюється в камері, через втулку 4 надходить у дифузур 6 і спіральний відвід 5, де гальмується з підвищенням тиску. На стінці дифузора розташований регульовальний клапан 7. Вихідний з спірального відводу потік пода-

ється в технологічний трубопровід або скидається в атмосферу (при вакуумуванні замкнених об'ємів) [6, 12].

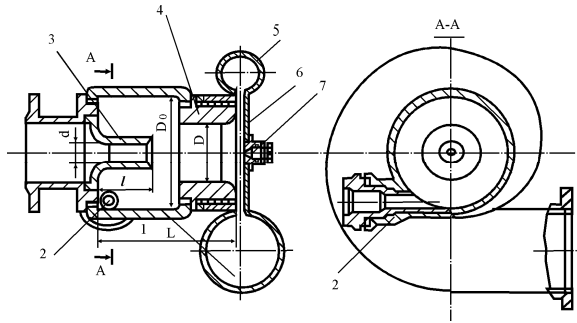


Рис. 1. Вихровий ежектор

Дослідження роботи вихрового ежектору зроблено шляхом виконання числового експерименту на основі вирішення рівнянь Нав'є-Стокса, осереднених за Рейнольдсом для нестисливої рідини, отриманих з використанням узагальненої гіпотези Бусінеска, що пов'язує напруги Рейнольдса з осередненими параметрами потоку [13, 14]. Рідина прийнята нестисливою внаслідок того, що в багатьох задачах перекачування рідин за допомогою струминної макротехніки робочі тиски й швидкості такі, що з достатньою точністю, течію в них можна вважати нестисливою [15]. Для замикання математичної моделі до рівнянь руху додане рівняння нерозривності. Для розрахунку течії прийнята модифікована двошарова SST « $k-\omega$ » модель турбулентності переносу напруг, що зрушують, Ментера, що враховує особливості течії біля твердих стінок і в зовнішньому потоці, і приводить до задовільних результатів для розрахунку обмежених стінками потоків [16]. Математичне моделювання проводилося в програмному комплексі OpenFOAM (OpenCFD Ltd) при наступних значеннях граничних умов: на всіх границях розрахункової області прийняті «жорсткі» граничні умови: на твердій стінці – умова прилипання рідини  $\vec{V}|_b = 0$ , а у вхідному перетині каналу живлення задавалося значення тиску гальмування  $p|_b = p_s$ , у вихідних каналах – рівність нулю тиску  $p|_b = 0$  [17].

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j k) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \mu_{ef} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + P_k - \beta^* \rho k \omega; \quad (1)$$

$$\frac{\partial(\rho \omega)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j \omega) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \mu_{ef} \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right) - \rho \beta \omega^2 + Cd_\omega + \alpha \frac{\rho}{\mu_t} P_k, \quad (2)$$

де  $\rho$  – густина;  $k$  – кінетична енергія турбулентних пульсацій;  $x_j$  – декартові координати;  $u_j$  – проекції швидкості в декартовій системі координат;

$\mu_{ef} = \mu + \mu_t$  – ефективна в'язкість;  $\mu_t$  – турбулентна в'язкість;  $\mu$  – молекулярна в'язкість;  $\omega$  – питома дисипація;  $P_k$  – генераційний член;  $Cd_\omega$  – перехресний член. Константи й опис рівнянь (1)-(2) можна знайти в роботі [13].

Програмний комплекс OpenFOAM (OpenCFD Ltd) надає можливість використання відкритого коду по ліцензії GPL версії 2 Фонду Вільного Програмного Забезпечення (FSF). Вирішення задач аерогідродинаміки за допомогою даного комплексу та моделі турбулентності SST вказує на досить гарний збіг результатів розрахунку з результатами експериментальних досліджень [18].

Тому що течія у вихровій камері характеризується досить великими кутовими швидкостями, що приводить до значної помилки розрахунку значень тиску біля осі, використане виправлення на кривизну ліній струму та обертання потоку [19, 20], яке в SST-моделі турбулентності реалізується шляхом множення генераційного члена в рівняннях моделі SST на функцію

$$f_{r_i} = \max \{ \min (f_{rotation}, 1.25), 0.0 \}, \quad (3)$$

де

$$f_{rotation} = (1 + c_{r1}) \frac{2r^*}{1 + r^*} \left[ 1 - c_{r3} \tan^{-1} (c_{r2} \tilde{r}) \right] - c_{r1}. \quad (4)$$

Константи  $c_{r1}$ ,  $c_{r2}$ ,  $c_{r3}$  рівні 1, 2 й 1 відповідно.  $r^*$  і  $\tilde{r}$  обчислюються в такий спосіб:

$$r^* = \frac{S}{\Omega},$$

$$\tilde{r} = 2\Omega_{ik} S_{ik} \left[ \frac{DS_{ij}}{Dt} + (\varepsilon_{imn} S_{jn} + \varepsilon_{jmn} S_{in}) \Omega_m^{rot} \right] \frac{1}{\Omega D^3} \quad (5)$$

Тензор швидкостей деформацій:

$$S_{ij} = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right).$$

Тензор завихореності

$$\Omega_{ij} = \frac{1}{2} \left( \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) + 2\varepsilon_{mji} \Omega_m^{rot} \right), \text{ де } \varepsilon_{mji} \text{ – тензор Ле-ві-Чивіті.}$$

$$S^2 = 2S_{ij}S_{ij}; \quad \Omega^2 = 2\Omega_{ij}\Omega_{ij}; \quad D^2 = \max(S^2, 0.09\omega^2).$$

На рис. 3. наведено результати дослідження впливу діаметра сопла пасивного потоку вихрового ежектора ( $\bar{d}_{in} = d_{in} / D$ , де  $D$  – діаметр вихрової камери) на відносний коефіцієнт корисної дії ( $\bar{\eta} = \eta / \eta_{max}$ ;  $\eta_{max} = \eta|_{\bar{d}_{in}=0.2}$ ), коефіцієнт ежекції

( $\bar{Q}_{in} = Q_{in} / Q_s$ , де  $Q_{in}$  – об'ємна витрата середовища, яке перекачується;  $Q_s$  – об'ємна витрата активного середовища) і коефіцієнт вакууму ( $\bar{p}_{vac} = p_{vac} / p_R$ , де  $p_{vac}$  – вакуумметричний тиск на осі вихрової камери;  $p_R$  – тиск на периферії вихрової камери).

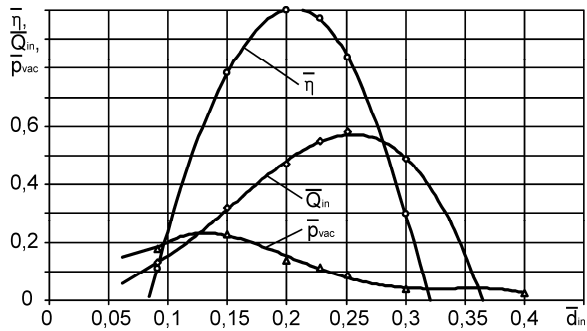


Рис. 2. Вплив відносного діаметра сопла пасивного потоку вихрового ежектора на ККД, коефіцієнт ежекції й розрідження біля осі камери

Залежності ККД, коефіцієнта ежекції й розрідження на осі камери вихрового ежектора (рис. 2) мають максимуми: максимум ККД досягається при  $\bar{d}_{in} = 0,2$ , максимум коефіцієнта ежекції –  $\bar{d}_{in} = 0,25$ , максимум вакуумметричного тиску на осі вихрової камери –  $\bar{d}_{in} = 0,13$ , що погодиться з даними наведеними в [6, 12], але в цих роботах залежності КПД, на жаль, не наведено.

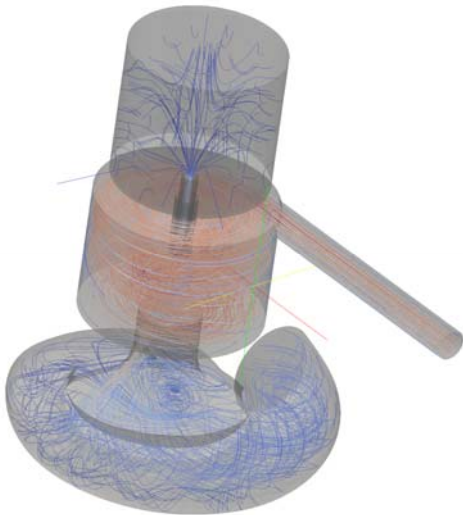


Рис. 3. Розподіл ліній струму у вихровому ежекторі

Розрахунок конструкції вихрового ежектора зі спіральним відводом показав (рис. 4), що застосування спірального відводу приводить до зниження ККД в 1,5 рази, внаслідок втрат енергії вихідного потоку в спіральному відводі, що пов'язано з закрученням потоку, та його відривом від стінок, що підтверджується дослідженнями, проведеними в [11, 12].

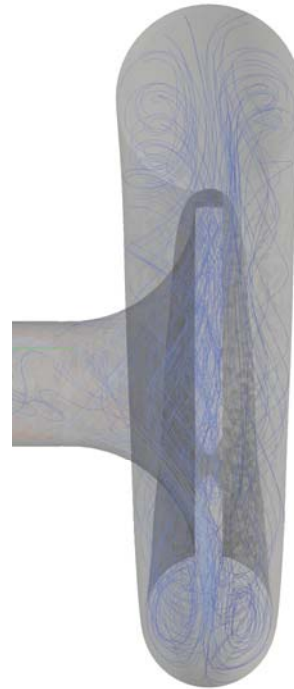


Рис. 4. Розподіл ліній струму у спіральному відводі

Адекватність математичного моделювання течії у вихровому ежекторі перевірялася різними способами, зокрема зіставленням розрахункових картин течії картинам течії, отриманим експериментально [6, 12, 21, 22], за інтегральними параметрами і порівнянням розрахункового розподілу тиску вздовж радіуса вихрової камери з експериментальними [23].

Таким чином, вихровий ежектор, внаслідок створення досить великого розрідження на осі камери може створювати високі розрідження у вакуумованих обсягах, що дозволяє його використати, у першу чергу, як ежекційний вакуум-насос. Його використання в системах пневматичного транспорту є недоцільним внаслідок низького ККД [24]. В цих випадках більш кращим буде застосування вихорокамерних нагнітачів, в яких тверда частинка переміщується до периферії вихрової камери то потрапляє до тангенціального каналу виходу за допомоги відцентрової сили [1, 3].

#### Висновки:

1) На основі числового вирішення математичної моделі отримано залежності ККД, коефіцієнта ежекції та вакууму біля осі вихрової камери вихрового ежектора. Знайдено раціональні за діаметром вхідного каналу конструкції: максимум ККД досягається при  $\bar{d}_{in} = 0,2$ , максимум коефіцієнта ежекції –  $\bar{d}_{in} = 0,25$ , максимум вакуумметричного тиску на осі вихрової камери –  $\bar{d}_{in} = 0,13$ .

2) Розрахунок конструкції вихрового ежектора зі спіральним відводом показав, що застосування спірального відводу приводить до зниження ККД в 1,5 рази, внаслідок втрат енергії вихідного потоку в спіральному відводі, пов'язаному із закрученням потоку, та його відривом від стінок.

## Література

1. Роговий А. С. Розробка теорії та методів розрахунку вихорокамерних нагнітачів: автореф. дис. ... д-ра техн. наук : спец. 05.05.17 / Андрій Сергійович Роговий ; Нац. техн. ун-т "Харків. політехн. ін-т". – Харків, 2017. – 36 с.
2. Сьомін Д.О. Вплив умов входу середовища, що перекачується, на енергетичні характеристики вихрекамерних насосів/ Д.О. Сьомін, А.С. Роговий. // Вісник НТУ «ХП». – Харків.: НТУ «ХП», 2015. – № 3 (1112). – С. 130-136.
3. Rogovyj A.S. Comparative Analysis Of Performance Characteristics Of Jet Vortex Type Superchargers/ A.S. Rogovyj, Ye. Voronova // Автомобильный транспорт: сб. науч. тр. / МОН Украины, ХНАДУ. – Харьков, 2016. – Вып. 38. – С. 93–98.
4. Xu J. Numerical and experimental studies on transport properties of powder ejector based on double venturi effect / Xu J, Liu X and Pang M // Vacuum, 2016. – № 134, P. 92-98.
5. Rogovyj A. Application of the similarity theory for vortex chamber superchargers / Rogovyj A., Khovansky S. // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – IOP Publishing, 2017. – Vol. 233. – №. 1. – P. 012011.
6. Вихревые аппараты / А.Д. Сулов, С.В. Иванов, А.В. Мурашкин [и др.]. – М.: Машиностроение, 1985. – 256 с.
7. Волон В.Т. Моделирование процессов энергообмена в сильнотактурных сжимаемых потоках газа и плазмы.: Автореф. дис... докт. физ.-мат. наук: 01.02.05/ Волон В.Т.; ФГАОУВПО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», – Казань, 2011. – 50 с.
8. Свтушенко А.О. Гідродинамічні машини і передачі: Навч. посібник для студ. вищих навч. закл. / Свтушенко А.О. – Суми : Вид-во СумДУ, 2005. — 256с.
9. Сьомін Д.О. Підвищення ефективності переміщення вантажів трубопровідним транспортом засобами струминної арматури: Дис...д-ра техн. наук: 05.22.12 / Східноукраїнський національний ун-т ім. Володимира Даля. – Луганськ, 2004. – 381с.
10. Besagni G. Ejector refrigeration: a comprehensive review / Besagni G, Mereu R and Inzoli F // Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2016. – Vol. 53. – P. 373-407
11. Иванов Р.И. Повышение эффективности процесса смесеобразования в горелочных устройствах с использованием особенностей течения в вихревом прямоточном эжекторе.: Автореф. дис...канд. техн. наук: 01.04.14/ Р.И. Иванов; Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П.А. Соловьева, – Рыбинск, 2012. – 20 с.
12. Меркулов А.П. Вихревой эффект и его применение в технике. / Меркулов А.П. – М.: Машиностроение, 1969. – 184 с.
13. Smirnov P. E. Sensitization of the SST turbulence model to rotation and curvature by applying the Spalart–Shur correction term / Smirnov P. E., Menter F. R. // Journal of Turbomachinery. – 2009. – Vol. 131. – №. 4. – P. 041010.
14. Rogovyj A. Use of detached-eddy simulation method (DES) in calculations of the swirled flows in vortex apparatuses/A.Rogovyj// Teka Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa. – Poland. – 2016. – Vol. 16, No. 3. – P. 57-62.
15. Syomin D. Vortex mechanical devices in control systems of fluid mediums /Syomin D., Pavljuchenko V., Maltsev Y., Rogovoy A., Dmitrienko D. // Teka Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa. – Poland. – 2010. – Vol. 10. – P. 440-445.
16. Menter F. R. Two-Equation Eddy-Viscosity Turbulence Models for Engineering Applications / Menter, F. R. // AIAA Journal – 1994.– Vol. 32. – no 8. – P. 1598-1605.
17. Syomin D. Features of a working process and characteristics of irrotational centrifugal pumps/Syomin D., Rogovyj A. // Procedia Engineering. – United Kingdom. – 2012. – Volume 39. – P. 231–237.
18. Jasak H. OpenFOAM: open source CFD in research and industry /Jasak H.//International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering. – 2009. – Vol. 1. – №. 2. – P. 89-94.
19. Shur M. L. Turbulence modeling in rotating and curved channels: assessing the Spalart-Shur correction /Shur M. L. et al//AIAA journal. – 2000. – Vol. 38. – №. 5. – P. 784-792.
20. 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.
21. Škerlavaj, A. Turbulence model comparison for a surface vortex simulation. / Škerlavaj, A., Lipej, A., Ravnik, J. and Škerget, L // In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2010. – Vol. 12. – No. 1. – P. 012034.
22. Stephens, D. Turbulence model analysis of flow inside a hydrocyclone. / Stephens, D. W. and Mohanarangam, K.// Progress in Computational Fluid Dynamics, an International Journal, 2010. – Vol. 10(5-6). – P. 366-373.
23. Сполучення вихрових виконавчих пристроїв із сучасними системами управління / Сьомін Д.О., Павлюченко В.О., Ремень В.І., Мальцев Я.І. - Луганськ: Вид-во Східноукр. нац. ун-ту ім. В.Даля, 2002. – 174 с.
24. Роговой А.С. Энергетическая эффективность пневмотранспортных установок/ Роговой А.С. // Вісник СНУ ім. В.Даля. – Сєверодонецьк: вид-во СНУ ім. В.Даля. – 2016. – №1 (225). – С. 189-196.

## References

1. Rogovyj A. S. Rozrobka teorii' ta metodiv rozrahunku vyhorokamernyh nagnitachiv: avtoref. dys. ... d-ra tehn. nauk : spec. 05.05.17 / Andrij Sergijovych Rogovyj ; Nac. tehn. un-t "Harkiv. politehn. in-t". – Harkiv, 2017. – 36 s.
2. Syomin D.O. Vplyv umov vходу seredovyshha, shho perekachujet'sja, na energetychni harakterystyky vyhrekame-rnyh nasosiv/ D.O. Syomin, A.S. Rogovyj. // Visnyk NTU «HPI». – Harkiv.: NTU «HPI», 2015. – № 3 (1112). – S. 130-136.
3. Rogovyj A.S. Comparative Analysis Of Performance Characteristics Of Jet Vortex Type Superchargers/ A.S. Rogovyj, Ye. Voronova // Автомобильный транспорт: сб. науч. тр. / МОН Украины, ХНАДУ. – Харьков, 2016. – Вып. 38. – С. 93–98.
4. Xu J. Numerical and experimental studies on transport properties of powder ejector based on double venturi effect / Xu J, Liu X and Pang M // Vacuum, 2016. – № 134, P. 92-98.
5. Rogovyj A. Application of the similarity theory for vortex chamber superchargers / Rogovyj A., Khovansky S. // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – IOP Publishing, 2017. – Vol. 233. – №. 1. – P. 012011.
6. Vihrevye apparaty / A.D. Suslov, S.V. Ivanov, A.V. Murashkin [i dr.]. – М.: Mashinostroenie, 1985. – 256 s.
7. Volov V.T. Modelirovanie processov jenergoobmena v sil'nozakruchennyh szhimaemyh potokah gaza i plaz-my.: Avtoref. dis... dokt. fiz.-mat. nauk: 01.02.05/ Volov V.T;

- FGAOUVPO «Kazanskij (Privolzhskij) federal'nyj universitet», – Kazan', 2011. – 50 s.
8. Jevtushenko A.O. Hidrodinamichni mashyny i peredachi: Navch. posibnyk dlja stud. vyshhyh navch. zakl. / Jevtushenko A.O. – Sumy : Vyd-vo SumDU, 2005. — 256s.
  9. Syomin D.O. Pidvyshhennja efektyvnosti peremishhennja vantazhiv truboprovidnym transportom zasobamy strumynnoi' armatury: Dys...d-ra tehn. nauk: 05.22.12 / Shidnoukrai'ns'kyj nacional'nyj un-t im. Volodymyra Dalja. – Lugans'k, 2004. – 381c.
  10. Besagni G. Ejector refrigeration: a comprehensive review / Besagni G, Mereu R and Inzoli F // Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2016. – Vol. 53. – P. 373-407
  11. Ivanov R.I. Povyshenie jeffektivnosti processa smeseobrazovanija v gorelochnyh ustrojstvah s ispol'zovaniem osobennostej techenija v vihrevom prjamotochnom jezhektore.: Avtoref. dis...kand. tehn. nauk: 01.04.14/ R.I. Ivanov; Rybinskij gosudarstvennyj aviacionnyj tehniceskij universitet imeni P.A. Solov'eva, – Rybinsk, 2012. – 20 s.
  12. Merkulov A.P. Vihrevoj jeffekt i ego primenenie v tehnikе. / Merkulov A.P. – M.: Mashinostroenie, 1969. – 184 s.
  13. Smirnov P. E. Sensitization of the SST turbulence model to rotation and curvature by applying the Spalart–Shur correction term / Smirnov P. E., Menter F. R. // Journal of Turbomachinery. – 2009. – Vol. 131. – №. 4. – P. 041010.
  14. Rogovyj A. Use of detached-eddy simulation method (DES) in calculations of the swirled flows in vortex apparatuses/A.Rogovyj// Teka Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa. – Poland. – 2016. – Vol. 16, No. 3. – P. 57-62.
  15. Syomin D. Vortex mechanical devices in control systems of fluid mediums /Syomin D., Pavljuchenko V., Maltsev Y., Rogovoy A., Dmitrienko D. // Teka Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa. – Poland. – 2010. – Vol. 10. – P. 440-445.
  16. Menter F. R. Two-Equation Eddy-Viscosity Turbulence Models for Engineering Applications / Menter, F. R. // AIAA Journal – 1994.– Vol. 32. – no 8. – P. 1598-1605.
  17. Syomin D. Features of a working process and characteristics of irrotational centrifugal pumps/Syomin D., Rogovyj A. // Procedia Engineering. – United Kingdom. – 2012. – Volume 39. – P. 231–237.
  18. Jasak H. OpenFOAM: open source CFD in research and industry /Jasak H.//International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering. – 2009. – Vol. 1. – №. 2. – P. 89-94.
  19. Shur M. L. Turbulence modeling in rotating and curved channels: assessing the Spalart-Shur correction /Shur M. L. et al.//AIAA journal. – 2000. – Vol. 38. – №. 5. – P. 784-792.
  20. Syomin D.A. Verifikacija raschetov techenij v vihrekamernyh ustrojstvah/ Syomin D.A., Rogovyj A.S., Levashov A.M., Levashov Ja.M. // Visnik NTUU «KPI». Ser. Mashinobuduvannja., 2016. – № 2 (77). – S. 71-78.
  21. Škerlavaj, A. Turbulence model comparison for a surface vortex simulation. / Škerlavaj, A., Lipej, A., Ravnik, J. and Škerget, L // In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2010. – Vol. 12. – No. 1. – P. 012034.
  22. Stephens, D. Turbulence model analysis of flow inside a hydrocyclone. / Stephens, D. W. and Mohanarangam, K.// Progress in Computational Fluid Dynamics, an International Journal, 2010. – Vol. 10(5-6). – P. 366-373.
  23. Spoluchennja vyhrovih vykonavchih prystroi'v iz suchasnymy systemamy upravlinnja / Syomin D.O., Pavljuchenko V.O., Remen V.I., Malcev Ja.I. - Lugans'k: Vyd-vo Shidnoukr. nac. un-tu im. V.Dalja, 2002. – 174 s.
  24. Rogovoj A.S. Jenergeticheskaja jeffektivnost' pnevmo-transportnih ustanovok/ Rogovoj A.S. // Visnyk SNU im. V.Dalja. – Sjevjerodonec'k: vyd-vo SNU im. V.Dalja. – 2016. – №1 (225). – S. 189-196.
- Роговой А.С., Ермоленко В.В. Повышение эффективности работы вихревого эжектора.**
- На основе численного решения математической модели получены зависимости КПД, коэффициента эжекции и вакуума возле оси вихревой камеры вихревого эжектора. Расчет конструкции эжектора со спиральным отводом показал, что применение спирального отвода приводит к снижению КПД в 1,5 раза, вследствие потерь энергии выходного потока в спиральном отводе, связанном с закруткой потока, и его отрывом от стенок. Исследование выполнено путем числового эксперимента на основе решения уравнений Навье–Стокса, осредненных по Рейнольдсу для несжимаемой жидкости, полученных с использованием обобщенной гипотезы Буссинеска, связывающей напряжения Рейнольдса с осредненными параметрами потока. Для расчета течения принята модифицированная двухслойная SST-модель.*
- Ключевые слова:** вихревой эжектор, математическое моделирование, спиральный отвод, числовые методы, эффективность.
- Rogovyj A., Jermolenko V. Effectiveness Increase Of The Vortex Ejector.**
- On the basis of the numerical solution of the mathematical model, the dependencies of the efficiency, the coefficient of ejection and the vacuum on the vortex chamber of the vortex ejector are obtained. The calculation of the design of a spiral-shaped vortex ejector has shown that use of a spiral drain reduces efficiency by half, due to the loss of energy of the outflow in the spiral drain, due to the swirling of the flow, and its separation from the walls. The research is done by performing a numerical experiment on the basis of the Navier-Stokes equations solution averaged over Reynolds for a incompressible fluid obtained using the generalized Boussinesq hypothesis, which relates Reynolds stress with averaged parameters of the flow. To calculate the fluid flow accepted modified two-layer SST-model. As the fluid flow in the chamber is characterized by fairly large angular velocities, the rotation-curvature correction the streamlines is used.*
- Keywords:** vortex ejector, mathematical modeling, spiral removal, numerical methods, efficiency.
- Роговий А.С.** – д.т.н., доц., професор кафедри теоретичної механіки та гідравліки, ХНАДУ, м. Харків, Україна, e-mail: [asrogovoy@ukr.net](mailto:asrogovoy@ukr.net)
- Єрмоленко В.В.** – студент гр. ТЛЗ-241 СХУ ім. В.Даля, м. Сєверодонецьк, Україна.
- Рецензент:* д.т.н., проф. **Чернецька-Білецька Н.Б.**