

ПОРІВНЯННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ВИХОРОКАМЕРНОГО НАГНІТАЧА ДЛЯ ПЕРЕКАЧУВАННЯ ЗЕРНА З НАГНІТАЧАМИ ІНШИХ ТИПІВ

Роговий А. С.¹, Нескорожений А. О.², Лук'янець С. І.¹, Шудрик О. Л.³

¹Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

²Харківський національний автомобільно-дорожній університет

³ТОВ «РЕГІОН»

Анотація. Серед нагнітачів, що використовуються в пневмотранспорті, найкращі показники надійності та тривалості дії мають струминні насоси. Однак їх застосування в цих системах обмежене внаслідок великих питомих показників витрат енергії на реалізацію перекачування заданої масової витрати із заданою концентрацією. Вихорокамерні нагнітачі дозволяють підвищити тиск середовища на виході з насоса на відміну від класичних прямоточних струминних насосів, але їхні характеристики під час роботи в у бездренажному режимі ще не досліджені. Метою роботи є аналіз характеристик вихорокамерних нагнітачів для перекачування зерна та порівняння основних інтегральних параметрів з параметрами приладів інших типів. Дослідження здійснено внаслідок порівняння експериментальних та розрахункових характеристик нагнітачів з технічними характеристиками промислових пневмотранспортних приладів на основі прямоточних струминних насосів та перевантажувачів зерна. У процесі порівняння визначено, що коефіцієнт витрати під час роботи з твердим середовищем (зерном) для вихорокамерного нагнітача перевищує в 1,1 раза досяжний (теоретичний) коефіцієнт прямоточного струминного насоса та поступається перевантажувачу зерна на 15 %. Покращення показників ефективності вихорокамерного нагнітача дозволяє збільшити діапазон використання пневмоустановок для перевантаження зерна. Дальність транспортування може бути збільшена до 220 м завдяки перевершенню показників щодо перепаду, як порівняти з прямоточними струминними апаратами зі збільшенням ККД процесу. На відміну від з перевантажувачів зерна всмоктувальної дії, вихорокамерний нагнітач може створити більший перепад, але зі зниженим ККД. Створення вакууму в приладі перевантажувача зерна обмежене величиною в 1 атм, на відміну від струминного нагнітача, який може працювати майже за будь-якого створеного перепаду тиску, що збільшує відстань транспортування.

Ключевые слова: вихорокамерний нагнітач, пневмотранспорт, перевантажувач зерна, порівняння, струминний насос.

Вступ

На сьогодні приблизно 30 % усіх вантажів на промислових підприємствах переміщують за допомогою гідро- та пневмотранспортних приладів [1]. Трубопровідний транспорт використовують не тільки як промисловий, а й як магістральний для перекачування різноманітних сумішей. Основними перевагами трубопровідного транспорту є продуктивність і безперервність процесу переміщення вантажів [2]. Внаслідок того, що витрати на розроблення та проектування систем становлять 45 % собівартості продукції, а експлуатаційні витрати – 50 %, надійність та термін експлуатації пристроїв, які використовуються для реалізації транспортного процесу, є актуальними питаннями під час проектування та вибору тих чи інших пристроїв, матеріалів та технологій [3].

Принцип дії гідропневмотранспортних систем заснований на передачі енергії несучого середовища (рідина або газ) твердим частинкам та переміщенні їх транспортними трубопроводами [4]. Однак транспортування твердих частинок (гідросумішей) призводить до швидкого абразивного зношування майже всіх елементів пневмотранспортних приладів, що контактують, насамперед насосів і живильників [5]. Крім того, зношенню сприяють такі екстремальні умови експлуатації, як ударні навантаження, вібрації, хімічна агресивність робочого та зовнішнього середовищ, підвищена вологість, знакозмінні прискорення, різкі перепади температур, запиленість [6]. Ці умови експлуатації притаманні вугледобувній та металургійній промисловості, де на сьогодні застосовують системи гідравлічного та пневматичного транспортування. Під час перекачування

різноманітних середовищ у сільському господарстві абразивне зношування є меншою проблемою, ніж можливість ушкодження твердих частинок (зерна) в насосах звичайних типів. Тому дотримання якості переміщення, швидке зношування силового обладнання, зупинки транспортування з метою заміни зношених ущільнень призводить до значних експлуатаційних витрат, зменшити які можна збільшенням надійності та терміну використання елементів пневмотранспортних систем [7].

Аналіз публікацій

Серед нагнітачів, що використовуються в пневмотранспорті, найкращі показники надійності та терміну використання мають струминні насоси [8]. Однак їх застосування в цих системах обмежене внаслідок великих питомих показників витрат енергії на реалізацію перекачування заданої масової витрати із заданою концентрацією 10–100 кВтг/т і 0,2 кВтг/тм, водночас як пневмогвинтові та пневмокамерні насоси мають концентрацію 10 кВтг/т та 0,01кВтг/тм [3]. Рациональна довжина транспортування вантажів пневматичним транспортом за допомогою струминних насосів обмежена 200 м. Ця величина значно менша, ніж в разі застосування силових установок інших типів [9]. Через малі відстані транспортування максимальний тиск на виході зі струминного насоса є меншим, ніж тиск активного струменя чистої рідини або газу, що до нього подаються. Співвідношення тисків коливається в діапазоні 0,1–0,4. Чим більшим є коефіцієнт ежекції, тим менше це співвідношення [10].

Вихорокамерні нагнітачі дозволяють підвищити тиск середовища на виході з насоса, на відміну від класичних прямоочних струминних насосів, але їхні характеристики під час роботи в бездренажному режимі ще не досліджені [11]. У вихорокамерних нагнітачах використовуються гідродинамічні особливості закручених течій – виникнення вакууму на осі вихрової камери та надлишкового тиску на периферії [2, 6]. В інших нагнітачах, що використовують особливості оберткових потоків, наприклад у вихрових ежекторах [12], процес перекачування твердих частинок і, відповідно, застосування їх у гідропневмотранспортних системах є неефективним внаслідок того, що тверді частинки потрапляють на периферію камери через сепарацію під дією відцентрової сили. Відповідно до експериментальних досліджень, проведених у роботах [2, 3, 13], вихорокамерні нагнітачі

(ВКН) можуть використовуватися в гідро- та пневмотранспорті, їхній ККД вище, ніж у вихрових ежекторів, але комплексного аналізу з іншими видами насосів для перекачування твердих абразивних середовищ не здійснювали.

Загалом ВКН може працювати у двох режимах: з дренажним каналом та без нього [14]. Економічне обґрунтування роботи ВКН з дренажним каналом під час перекачування сипких середовищ було здійснене в роботах [2, 3]. Визначено, що ефективність перекачування за допомогою ВКН в 2 рази перевищує ефективність прямоочних струминних насосів. Але основним недоліком цього процесу є втрати середовища, що перекачується, в дренажному каналі. Конструкція зі всмоктуванням твердого середовища крізь обидва осьові канали потребує досліджень ефективності перекачування сипких середовищ та порівняльного аналізу з іншими приладами.

Таким чином, актуальним стає завдання вдосконалення вихорокамерних нагнітачів для перекачування зерна та порівняльний аналіз характеристик перекачування приладів інших типів.

Мета та постановка завдання

Метою роботи є аналіз характеристик вихорокамерних нагнітачів для перекачування зерна та порівняння параметрів роботи з параметрами приладів інших типів.

Порівняння характеристик вихорокамерного нагнітача з пневмотранспортними установками перевантаження зерна

Вихорокамерний нагнітач складається з вихрової камери з чотирма основними каналами (два тангенціальні та два осьові) (рис. 1).

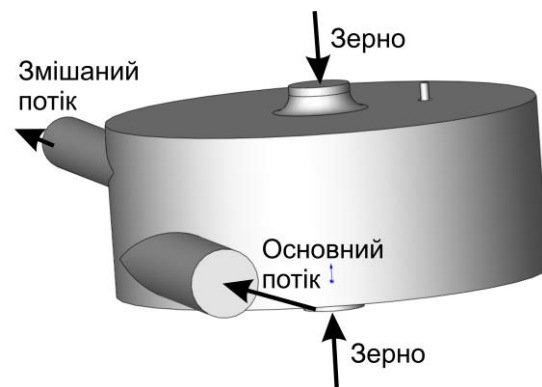


Рис. 1. Розрахункова схема вихорокамерного нагнітача зерна

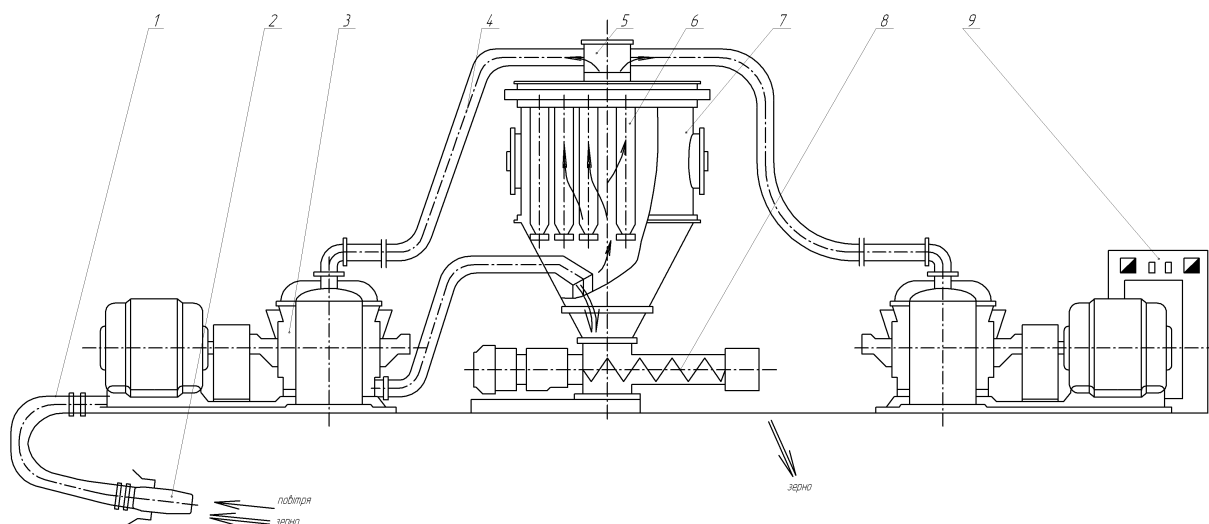


Рис. 2. Пневматичний перевантажувач зерна: 1 – зернопровід; 2 – сопло; 3 – вакуум-установка; 4 – повітропровід; 5 – механізм продувки; 6 – рукавні фільтри; 7 – осаджувальна камера; 8 – шнек; 9 – електроапаратура.

Основний потік однорідного середовища подається крізь тангенціальний канал входу до вихрової камери, де створює область обертального руху рідини з підвищеним тиском на периферії та зниженим біля осі.

Зниження тиску біля осі дозволяє реалізувати всмоктування перекачаного середовища, тобто зерна, до вихрової камери, де частинки твердого матеріалу отримують від газу кінетичну енергію та обертаються навколо її осі.

Дія відцентрової сили на тверду частинку є поступовим рухом за спіралеподібними траєкторіями частинок від центру до периферії. Матеріал концентрується на периферії вихрової камери та потрапляє до тангенціального каналу виходу з нагнітача.

Теоретичні та експериментальні дослідження дозволили отримати основні характеристики роботи ВКН під час перекачування зерна, зокрема залежності тисків у каналах насоса від витрат та залежність ККД від витрати основного потоку.

У роботі [3] на основі таких показників енергетичної ефективності промислового пневматичного транспорту, як питома витрата електроенергії на тону матеріалу, що переміщується, і питома витрата електроенергії на тону і метр переміщення, було систематизовано та узагальнено досвід створення пневмотранспортних установок. Для різних варіантів концентрації та продуктивності було розраховано проект переміщення вугільного пилу горизонтальним трубопроводом різної довжини для систем пневмотранспорту на основі різних насосів: транспорт-

ні аерозолоби, установки всмоктувальної дії, шлюзові, пневмогвинтові, класичні прямооточні струминні насоси.

Одним із прикладів застосування пневморозвантажувачів усмоктувальної дії є перевантажувачі зерна із залізничних вагонів [15]. Під час розроблення цих машин ураховувалися умови їхньої роботи й особливості матеріалу, що транспортується.

Перевантажувач зерна відрізняється від розвантажувачів цементу й бавовняних насіннь відсутністю забірної пристрою, замість якого він містить спеціальне усмоктувальне сопло. Оскільки транспортування зерна має здійснюватись на великій відстані, вакуум-установка складається з двох вакуум-насосів РМК-4, що працюють паралельно та забезпечують необхідну за повітрям продуктивність усмоктувальної системи.

Загальний вид пневматичного перевантажувача зерна наведений на рис. 2. Він складається з таких основних вузлів: сопла 2 із гнучким зернопроводом 1, осаджувальної камери 7, вакуум-установки 3, повітропроводів 4 і шафи з електроапаратурою 9. Під дією розрідження, створюваного й підтримуваного в системі вакуум-установкою, атмосферне повітря всмоктується до нижньої частини сопла разом з частинками матеріалу, що транспортується. Сопло обладнане пристроєм для регулювання подачі повітря. Зерно, що потрапляє до осаджувальної камери, внаслідок втрати швидкості випадає з потоку, осаджується в нижній частині бункера, звідки видається за допомогою шнека 8 до прийомних пристроїв. Повітря з осаджувальної ка-

мери відсмоктується вакуум-насосами в атмосферу крізь рукавні фільтри 6, розташовані у верхній частині осаджувальної камери.

Промисловий перевантажувач зерна має такі технічні характеристики: продуктивність – 25 т/год; загальна потужність – 117 кВт, робочий вакуум – 425 мм рт. ст., діаметр гнучкого трубопроводу – 150 мм [16].

Для порівняльного аналізу пневматичних установок різних типів необхідно спроектувати ВКН та прямооточні струминні насоси відповідних розмірів для реалізації вищезазначених технічних характеристик. Для порівняльного аналізу використані й характеристики інших приладів всмоктувальної дії.

На рис. 3 наведено експериментальну характеристику ВКН зі всмоктуванням середовища, що перекачується крізь обидва осьові канали. Експериментальні дослідження проведено під час перекачування повітря повітрям. Вісь абсцис співвідносна до тиску активного потоку, вісь ординат співвідносна до витрати активного потоку середовища, що перекачується.

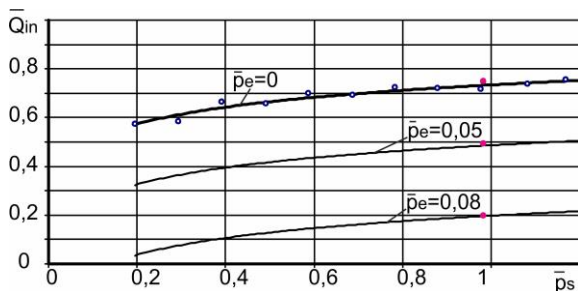


Рис. 3. Експериментальні характеристики перекачування повітря ВКН

Використовуючи результати експериментальних досліджень перекачування повітря, можна розрахувати масову витрату твердого середовища на основі перепаду тиску, що виникає між ядром потоку у вихровій камері та атмосферним тиском, під яким знаходиться сипке середовище, що перекачується [17].

Під час аналізу розрахункової масової витрати сипкого середовища з огляду на баланс сил, що діють на частинку, було розв'язано диференціальне рівняння руху твердої частинки, яке впливає на основі закону Ньютона. Після розв'язання числовими методами рівняння динаміки було визначено, що зі збільшенням густини твердої частинки збільшуються витрата твердої фази. Зі збільшенням розміру твердих частинок витрата зменшується.

Для аналізу застосування ВКН зі всмоктуванням з обох боків у пневмотранспортних системах здійснено порівняльний аналіз досяжного коефіцієнта ежекції від відносного перепаду тисків, створюваного нагнітачем для прямооточних струминних апаратів та для ВКН. Досяжний коефіцієнт ежекції для прямооточних струминних апаратів розраховується за формулою

$$u_s = \frac{\frac{k_s}{2(k_s + 1)} \varphi_1^2 \varphi_2^2 \lambda_{p,n}^2 \frac{p_{in}}{\Delta p_e} - \left(\frac{1}{\varphi_3} - 0,5 \right) \frac{1 + u_{gas}}{1 + \frac{\Delta p_e}{p_{in}}}}{\left(\frac{1}{\varphi_3} - 0,5 \right) \frac{1 + u_{gas}}{1 + \frac{\Delta p_e}{p_{in}}} - (\varphi_2 \varphi_4 - 0,5) n u_{gas}} - u_{gas},$$

де $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4$ – коефіцієнти швидкості сопла, робочої камери, дифузора та вхідної ділянки; k_s – показник адиабати потоку; $\Delta p_e = p_e - p_{in}$ – різниця тисків потоку, що перекачується, та на виході з пристрою; p_{in} – тиск на вході до каналу всмоктування; λ_s – зведена ізентропійна швидкість основного потоку; $u_{gas} = G_{in}^{gas} / G_s^{gas}$ – співвідношення масових витрат газу основного потоку та потоку, що перекачується [18].

На основі результатів теоретичних та експериментальних досліджень ВКН зі всмоктуванням зерна крізь осьові канали здійснено порівняльний аналіз досяжних коефіцієнтів витрат прямооточного струминного апарата, пневматичного перевантажувача та ВКН за таким алгоритмом: за відомими тисками, коефіцієнтом витрат та зведеною ізентропійною швидкістю для ВКН визначалися досяжні коефіцієнти ежекції прямооточного струминного апарата. Для перевантажувача зерна параметри визначалися на основі технічної характеристики.

Визначено, що коефіцієнт витрати за твердим середовищем (зерном) для ВКН перевищує в 1,1 раза досяжний (теоретичний) коефіцієнт прямооточного струминного апарата (рис. 4) та поступається перевантажувачу зерна на 15 %. Як порівняти з прямооточним струминним апаратом, необхідний менший рівень тиску основного потоку та знижується витрачена потужність. Це означає, що ККД ВКН перевищує ККД прямооточного струминного апарата, але поступається ККД перевантажувача зерна.

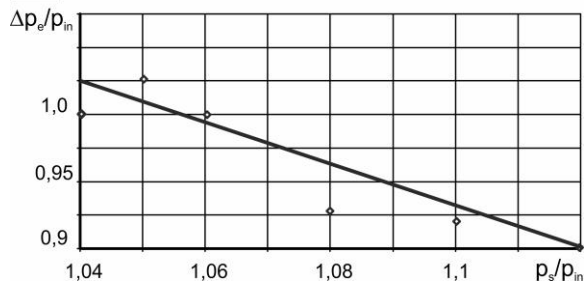


Рис. 4. Співвідношення відносних перепадів прямоточного струминного насоса до ВКН

З іншого боку, ВКН має значно більші показники надійності та терміну експлуатації, тому що не містить рухомих органів. Крім того, створення вакууму в установці перевантажувача зерна обмежене величиною в 1 атм, на відміну від ВКН, який може працювати майже за будь-якого створеного перепаду тиску, що збільшує відстань транспортування [19, 20].

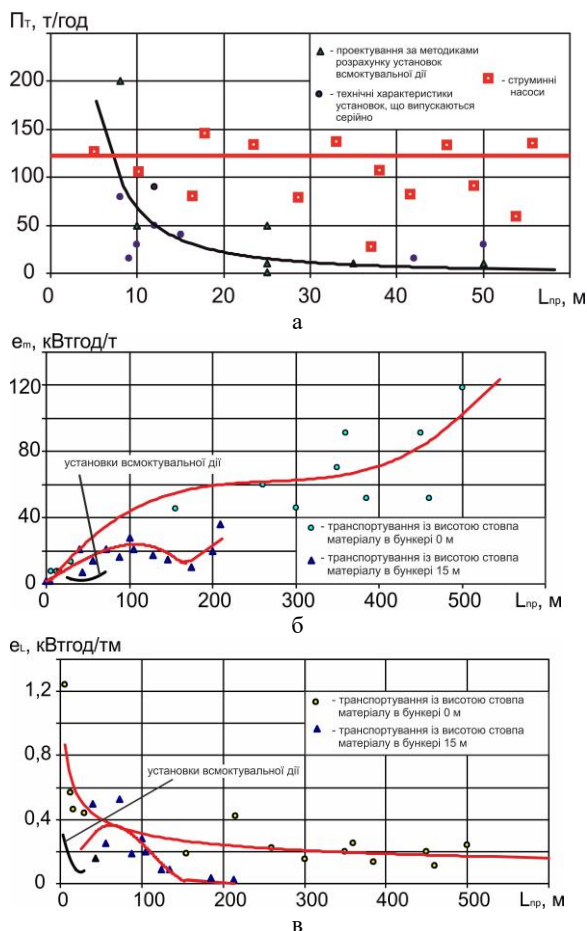


Рис. 5. Порівняльний аналіз енергетичних показників роботи пневмотранспортних установок струминного та всмоктувального типів: а – продуктивність установок; б – витрати енергії на переміщення 1 т; в – витрати енергії на переміщення 1 та на 1 м

Таким чином, покращення показників ефективності ВКН дозволяє збільшити діапазон використання пневмоустановок для перевантаження зерна. Дальність транспортування може бути збільшена до 220 м завдяки переверненню показників відносного перепаду на відміну від прямоточних струминних апаратів зі збільшенням ККД процесу. ВКН може створити більший перепад, ніж перевантажувачі зерна всмоктувальної дії, але зі зниженим ККД.

На рис. 5 подано результати порівняльного аналізу струминних установок різних типів (прямоточні та ВКН) з установками всмоктувальної дії. Прилади на основі струминної техніки мають значно більшу відстань можливого транспортування зерна завдяки створенню більшого перепаду тиску. Використання бункера накопичення зерна перед входом до струминного насоса дозволяє підвищити відстань транспортування. За енергетичними показниками (рис. 5б, 5в) установки, побудовані на основі струминних нагнітачів, значно поступаються перевантажувачам всмоктувальної дії.

ВКН дозволяють приблизно на 5–10 % знизити показники витрат енергії на переміщення вантажів у пневматичному транспорті, як порівняти з прямоточними струминними насосами. Використання бункерів нівелює переваги ВКН зі всмоктуванням середовища крізь обидва осьові канали.

Висновки

На основі результатів теоретичних та експериментальних досліджень ВКН зі всмоктуванням зерна крізь два осьові канали здійснено порівняльний аналіз досяжних коефіцієнтів витрат прямоточного струминного апарата, пневматичного перевантажувача та ВКН:

1 визначено, що коефіцієнт витрати за твердим середовищем (зерном) для ВКН перевищує в 1,1 раза досяжний (теоретичний) коефіцієнт прямоточного струминного апарата та поступається перевантажувачу зерна на 15 %;

2 покращення показників ефективності ВКН дозволяє збільшити діапазон використання пневмоустановок для перевантаження зерна. Дальність транспортування може бути збільшена до 220 м завдяки переверненню показників щодо перепаду для порівняння з прямоточними струминними апаратами зі збільшенням ККД процесу;

3 на відміну від перевантажувачів зерна всмоктувальної дії, ВКН може створити більший перепад, але зі зниженим ККД.

Література

- Ceresiat, L., Grosshans, H., Papalexandris, M. V. 2019. Powder electrification during pneumatic transport: the role of the particle properties and flow rates. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 2019. 58. P. 60–69.
- Роговий А. С. Розроблення теорії та методів розрахунку вихорокамерних нагнітачів: дис. ... д-ра техн. наук: 05.05.17 / Харківський нац. автомобільнодорожній ун-т. Харків, 2017. 364 с.
- Сьомін Д. О., Роговий А. С. Вихорокамерні нагнітачі: монографія. Харків, 2017. 204 с.
- Mills D. *Pneumatic conveying design guide*. Butterworth-Heinemann, 2013.
- Experimental study on erosion-corrosion behavior of liquid-solid swirling flow in pipeline / Zhou H., Ji Q., Liu W., Ma H. *Materials & Design*. 2022. 214. 110376.
- Роговий, А. С. Концепція створення вихорокамерних нагнітачів та принципи побудови систем на їх основі. *Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля*. 2017. No. 233. С. 168–173.
- Kunii D., Levenspiel O. *Fluidization engineering*. Butterworth-Heinemann, 1991.
- Analysis of a Jet Pump Performance under Different Primary Nozzle Positions and Inlet Pressures using two Approaches: one Dimensional Analytical Model and Three Dimensional CFD Simulations / Orozco Murillo W., Palacio-Fernande J. A., Patiño Arcila I. D., Zapata Monsalve J. S. *Journal of Applied and Computational Mechanics*. 2020. 6(Special Issue). P.1228–1244.
- Fluidized dense phase pneumatic conveying: a review / Behera N., Alkassar Y., K. Agarwal V., Pandey R. K. *Particulate Science and Technology*. 2022. P.1–20.
- An Overview of High-Pressure Systems Including Long-Distance and Dense Phase Pneumatic Conveying Systems. *Pneumatic Conveying of Solids: A theoretical and practical approach / Klinzing G. E., Rizk F., Marcus R., Leung L. S.* 2010. P. 331–355.
- Reduction of Granular Material Losses in a Vortex Chamber Supercharger Drainage Channel / Rogovyi A., Korohodskiy V., Neskorozenyi A., Hrechka I. 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*, 2022. P. 218–226.
- Mathematical modeling of operating process and technological features for designing the vortex type liquid-vapor jet apparatus / Merzliakov I., Pavlenko I., Chekh O., Sharapov S. In *Advances in Design, Simulation and Manufacturing II: Proceedings of the 2nd International Conference on Design, Simulation, Manufacturing: the Innovation Exchange, DSMIE-2019, June 11–14, 2019. Lutsk, Ukraine, 2020*. P. 613–622.
- Levchenko D., Meleychuk S., Arseniev V. Regime characteristics of vacuum unit with a vortex ejector stage with different geometry of its flow path. *Procedia Engineering*. 2012. 39. P.28–34.
- Роговий А. С. Особливості режимів роботи вихорокамерних нагнітачів. *Вісник ХНАДУ: зб. наук. пр.* 2016. Вип. 75. С. 120–128.
- Pneumatic conveying of solids: a theoretical and practical approach / Klinzing G. E., Rizk F., Marcus R., Leung L. S.* 2011. Vol. 8.
- Darby R., Darby R., Chhabra R. P. *Chemical engineering fluid mechanics, revised and expanded*. CRC Press. 2017.
- Improvement of Vortex Chamber Supercharger Performances Using Slotted Rectangular Channel / Rogovyi A., Neskorozenyi A., Krasnikov S., Tynyanova I. 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, 2022*. P. 552–561.
- Besagni G., Inzoli F. Computational fluid-dynamics modeling of supersonic ejectors: screening of turbulence modeling approaches. *Applied Thermal Engineering*. 2017. 117. P.122–144.
- Particle flow regime in a swirling pneumatic conveying system / Ji Y., Hao Y., Yi N., Guan T. *Powder Technology*. 2022. 401.
- Conveying and construction machinery / Katterfeld A., Roberts A., Wheeler C., Williams K. *Springer Handbook of Mechanical Engineering*. 2021. P. 829–991.

References

- Ceresiat, L., Grosshans, H., Papalexandris, M. V. 2019. Powder electrification during pneumatic transport: the role of the particle properties and flow rates. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 2019. 58. P. 60–69.
- Rogovyi A.S. Rozrobka teoriyi ta metodiv rozrakhunku vykhoro-kamernykh nahnitachiv [Development of the theory and designing methods of vortex chamber superchargers]: dys. ... d-ra tekhn. nauk: 05.05.17 / Kharkiv's'kyi nats. avtomobil'nodorozhniy un-t. Kharkiv, 2017. 364 s.
- Syomin D. O., Rogovyi A. S. (2017). *Vykhoro-kamerni nahnitachi [Vortex chamber superchargers]: monograph*. Kharkiv. 204 p. [in Ukrainian].
- Mills D. *Pneumatic conveying design guide*. Butterworth-Heinemann, 2013.
- Experimental study on erosion-corrosion behavior of liquid-solid swirling flow in pipeline /

- Zhou H., Ji Q., Liu W., Ma H. *Materials & Design*. 2022. 214. 110376.
6. Rogovyi A. S. Kontsepsiya stvorenyya vykhorokamernykh nahnitachiv ta pryntsyvy pobudovy system na yikh osnovi [The concept of vortex chamber superchargers creation and the principle of systems designing on their basis]. *Visnyk Skhidnoukrayins'koho natsional'noho universytetu imeni Volodymyra Dalya*. 2017. 3(233). 168–173 [in Ukrainian].
 7. Kunii D., Levenspiel O. *Fluidization engineering*. Butterworth-Heinemann, 1991.
 8. Analysis of a Jet Pump Performance under Different Primary Nozzle Positions and Inlet Pressures using two Approaches: one Dimensional Analytical Model and Three Dimensional CFD Simulations / Orozco Murillo W., Palacio-Fernande J. A., Patiño Arcila I. D., Zapata Monsalve J. S. *Journal of Applied and Computational Mechanics*. 2020. 6(Special Issue). P.1228–1244.
 9. Fluidized dense phase pneumatic conveying: a review / Behera N., Alkassar Y., K. Agarwal V., Pandey R. K. *Particulate Science and Technology*. 2022. P.1–20.
 10. An Overview of High-Pressure Systems Including Long-Distance and Dense Phase Pneumatic Conveying Systems. *Pneumatic Conveying of Solids: A theoretical and practical approach* / Klinzing G. E., Rizk F., Marcus R., Leung L. S. 2010. P. 331–355.
 11. Reduction of Granular Material Losses in a Vortex Chamber Supercharger Drainage Channel / Rogovyi A., Korohodskiy V., Neskorozenyi A., Hrechka I. 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*, 2022. P. 218–226.
 12. Mathematical modeling of operating process and technological features for designing the vortex type liquid-vapor jet apparatus / Merzliakov I., Pavlenko I., Chekh O., Sharapov S. In *Advances in Design, Simulation and Manufacturing II: Proceedings of the 2nd International Conference on Design, Simulation, Manufacturing: the Innovation Exchange, DSMIE-2019, June 11–14, 2019, Lutsk, Ukraine*, 2020. P. 613–622.
 13. Levchenko D., Melechuk S., Arseniev V. Regime characteristics of vacuum unit with a vortex ejector stage with different geometry of its flow path. *Procedia Engineering*. 2012. 39. P.28–34.
 14. Rogovyi A. S. (2016). Osoblyvosti rezhymiv roboty vykhorokamernykh nahnitachiv. [Features of vortex chamber superchargers working mode] *Visnyk: zb. nauk. pr.* (75). 120–128.
 15. Pneumatic conveying of solids: a theoretical and practical approach / Klinzing G. E., Rizk F., Marcus R., Leung L. S. 2011. Vol. 8.
 16. Darby R., Darby R., Chhabra R. P. *Chemical engineering fluid mechanics*, revised and expanded. CRC Press. 2017.
 17. Improvement of Vortex Chamber Supercharger Performances Using Slotted Rectangular Channel / Rogovyi A., Neskorozenyi A., Krasnikov S., Tynyanova I. 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, 2022. P. 552–561.
 18. Besagni G., Inzoli F. Computational fluid-dynamics modeling of supersonic ejectors: screening of turbulence modeling approaches. *Applied Thermal Engineering*. 2017. 117. P.122–144.
 19. Particle flow regime in a swirling pneumatic conveying system / Ji Y., Hao Y., Yi N., Guan T. *Powder Technology*. 2022. 401.
 20. Conveying and construction machinery / Katterfeld A., Roberts A., Wheeler C., Williams K. *Springer Handbook of Mechanical Engineering*. 2021. P. 829–991.
- Роговий Андрій Сергійович**¹, д.т.н., проф., зав.каф. гідравлічних машин ім. Г. Ф. Проскури, тел. +38057-707-69-46, e-mail: asrogovoy@ukr.net, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»;
- Нескорожений Артем Олегович**², аспірант кафедри деталей машин і теорії механізмів і машин, тел. +38-057-713-61-62, e-mail: nao@m-impex.com.ua, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, вул. Ярослава Мудрого, 25, м. Харків, 61000, Україна,
- Лук'янець Сергій Ігорович**¹, аспірант кафедри гідравлічних машин ім. Г.Ф. Проскури, тел. +38057-707-69-46, e-mail: serhii.lukianets@mit.khpi.edu.ua, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»
- Шудрик Олександр Леонідович**³, провідний технолог проектно-технологічного відділу; тел. +38 (044) 290 43 06, e-mail: o.shudryk@region.if.ua, ТОВ «Реґіон»; м. Харків, Україна
- Comparison of the Vortex Chamber Supercharger Characteristics for Grain Pumping with Other Types Superchargers**
- Abstract. Problem.** Among the superchargers used in pneumatic transport, jet pumps have the best reliability and durability indicators. However, their use in these systems is limited due to the large specific energy consumption indicators for pumping. Vortex chamber superchargers allow to increase the pressure of the medium at the outlet of the pump, in comparison with classic direct-flow jet pumps, but their characteristics during operation in undrained mode have not yet been investigated. **Goal.** The goal of this work is to analyze the characteristics of vortex

chamber superchargers for pumping grain and compare the main integral parameters with the parameters of existing pneumatic devices of other types. **Methodology.** The study was carried out by comparing the experimental and calculated superchargers characteristics with the technical characteristics of industrial pneumatic transport units based on direct-flow jet pumps and grain loaders. **Results.** As a result of the comparison, it was found that the mass flow rate for the solid medium (grain) for the vortex chamber supercharger exceeds the achievable (theoretical) rate of the direct-flow jet pump by 1.1 times and is 15 % inferior to the grain loader. **Originality.** Improving the efficiency indicators of the vortex chamber supercharger allows for expanding the range of pneumatic device usage for grain overloading. The distance of transportation can be increased to 220 m due to exceeding the indicators of the relative drop in comparison with direct-flow jet devices with an increase in the process efficiency. Compared to suction grain loaders, the vortex chamber supercharger can create a larger pressure drop, but with reduced efficiency. **Practical value.** The creation of a vacuum in a grain transfer unit is limited to 1 atm, unlike a jet supercharger, which

increases the transportation distance.

Key words: vortex chamber supercharger, pneumatic transport, grain loader, comparison, jet pump.

Rogovyi Andrii¹, professor, Doct. of Science, Department of Hydraulic Machines named after G.Proskura, tel. +38057-707-69-46, e-mail: asrogovoy@ukr.net. National Technical University Kharkiv Polytechnic Institute,

Neskorozhenyi Artem², PhD student of the Machine Components and Theory of Machines and Mechanisms Department, tel. +38-057-713-61-62, e-mail: nao@m-impex.com.ua. Kharkiv National Automobile and Highway University, 25, Yaroslava Mudrogo str., Kharkiv, 61002, Ukraine,

Lukianets Serhiy¹, PhD student of the Department of Hydraulic Machines named after G.Proskura, Machine Components and Theory of Machines and Mechanisms Department, tel. +38057-707-69-46, e-mail: serhii.lukianets@mit.khpi.edu.ua. National Technical University Kharkiv Polytechnic Institute,

Shudryk Oleksandr³, leading technologist of the Design and Technology Department; tel. +38 (044) 290 43 06, e-mail: o.shudryk@region.if.ua, LLC «Region»; Kharkiv, Ukraine.