

$$PdV + VdP - RTdG - RGdT = 0. \quad (9)$$

Замикає систему термодинамічну частину математичної моделі рівняння масового балансу:

$$dG_K + \sum dG_i - dG_M = 0, \quad (10)$$

де dG_K – кількість повітря, яке постачає компресор; dG_M – кількість повітря, яке виходить із мультиплікатору; dG_i – кількість повітря, яким обмінюються між собою окремі елементи пневмосистеми.

Диференціальне рівняння коливань підпружиненої маси запишемо використовуючи загальноприйняті методи механіки:

$$M \left(\frac{d^2x}{dt^2} \right) - kx + P_B F_B - P_T F_T = 0, \quad (11)$$

де M – маса поршня; x – переміщення поршня; k – жорсткість пружини; P_B – тиск повітря в резервуарі під поршнем; F_B – площа повітряного поршня; P_T – тиск рідини в резервуарі над гідравлічним поршнем; F_T – площа гідравлічного поршня.

Висновки. Важливим етапом при проектуванні новітніх зразків пожежної та аварійно-рятувальної техніки, що складаються з пневматичних трактів складних пневмомеханічних систем, є розробка математичних моделей для дослідження термодинамічних процесів, які відбуваються в системі, вибору її оптимальних параметрів та налаштування робочих процесів. В роботі розглядається один із методів побудови таких моделей.

Роговий Андрій Сергійович, д.т.н., проф., Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», asrogovoy@ukr.net

Рень Ціншен, студент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

Нескорожений Артем Олегович, аспірант, Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Тімченко Євген Ігорович, аспірант, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

ВЗАЄМНЕ РОЗТАШУВАННЯ ТАНГЕНЦІАЛЬНИХ КАНАЛІВ ВИХОРОКАМЕРНИХ НАГНІТАЧІВ У БЕЗДРЕНАЖНОМУ РЕЖИМІ РОБОТИ

Проблеми перекачування середовищ, що мають у своєму складі тверді абразивні частинки, мають визначальний вплив на ефективність виробництва у багатьох промисловостях: добування корисних копалин, їх збагачення, транспорт, хімічна та будівна промисловості. Найбільш ефективний спосіб переміщення твердих середовищ на підприємствах – це використання пневматичного або гідравлічного транспорту. Вони потребують значно менших

капітальних витрат та часу на організацію доставки середовища в будь-яку точку підприємства [1].

Вплив твердих абразивних середовищ на поверхні гідравлічних та пневматичних систем може виявитися таким, що пневмо- або гідротранспортна установка буде виходити з ладу за дуже незначний час, що приведе до значного підвищення ціни транспортування одиниці середовища або до значного простоювання установок для ремонту. Найбільш уразливими елементами таких установок є нагнітачі. Взаємодія абразиву з поверхнями робочих органів приводить до швидкого зношування лопатей та ущільнень [2].

Шляхи подолання означених проблем відомі і потребують використання коштовних матеріалів або насосів й компресорів з меншими показниками ефективності для мінімізації контакту лопатей з абразивним середовищем. Повністю вирішити подібні проблеми за використання класичних лопатевих нагнітачів не можливо. Струминні насоси не мають рухомих робочих органів та ущільнень, але їх ККД значно поступається ККД лопатевих насосів та не перевищує 30 % [3].

З іншої сторони, в останні двадцять років, швидкого розвитку отримали нові струминні пристрої для перекачування сипких абразивних середовищ на основі вихрової камери змішування – вихорокамерні нагнітачі (ВКН) [4]. Ці нагнітачі зберігають високі показники надійності та довговічності, як і інші елементи струминної техніки. Але, вони можуть досягати значно більших показників ефективності за рахунок використання відцентрової сили, що впливає на рух твердих частинок у вихровій камері та дозволяє передати додаткову енергію від основного потоку. Вихорокамерні нагнітачі мають можливі дві реалізації робочих процесів в залежності від функції осьових каналів [5]. Перша модифікація всмоктує потік, що перекачується через верхній осьовий канал й нижній використовує як дренажний. Для цієї конструкції характерний високий тиск на периферії вихрової камери за достатньо низької витрати на виході в тангенціальному каналі. Друга модифікація може всмоктувати потік, що перекачується через обидва осьові канали, але знижується тиск на периферії камери за високої витрати на виході. Якщо для першої конструкції, проведено дослідження впливу кута між тангенціальними каналами подачі активного середовища та виходу, то для другої – ні. Відмінність фізики робочого процесу, що існує між двома конструкціями може приводити до різних результатів такого взаємного розташування [6]. Тому, метою даної роботи є дослідження впливу кута між тангенціальними каналами ВКН на енергетичні показники перекачування.

Дослідження проведено на основі вирішення рівнянь Рейнольдса течії нестисливої рідини числовими шляхом. Для замикання рівнянь використано рівняння нерозривності та модель турбулентності. Тому що для вирішення означеної проблеми застосовано програмний комплекс Ansys CFX зі студентською ліцензією, то такий вибір моделі турбулентності є оптимальним внаслідок обмеження на можливу кількість контрольних елементів. Використання інших моделей турбулентності недоцільне через неможливість створення достатньої кількості та розміру пристінних шарів для забезпечення

достатності за параметром y^+ [7]. Сіткова модель складалася з 500 тис. елементів, що відповідає обмеженням студентської ліцензії (Рис. 1). Для підтвердження незалежності результатів від сіткового розбиття проведено порівняння результатів розрахунків інтегральних показників (ККД, витрати у вхідних та вихідних каналах) за сіток в 100 тис., 300 та 500 тис. елементів. Інтегральні показники сіток в 300 та 500 тис. елементів відрізняються на величину не більше 4%, що можна вважати достатнім й таким, що впливу сіток на якість розрахунку не відбувається. Перевірка адекватності математичного моделювання течії в нагнітачі такого типу проведено в роботах [8, 9].

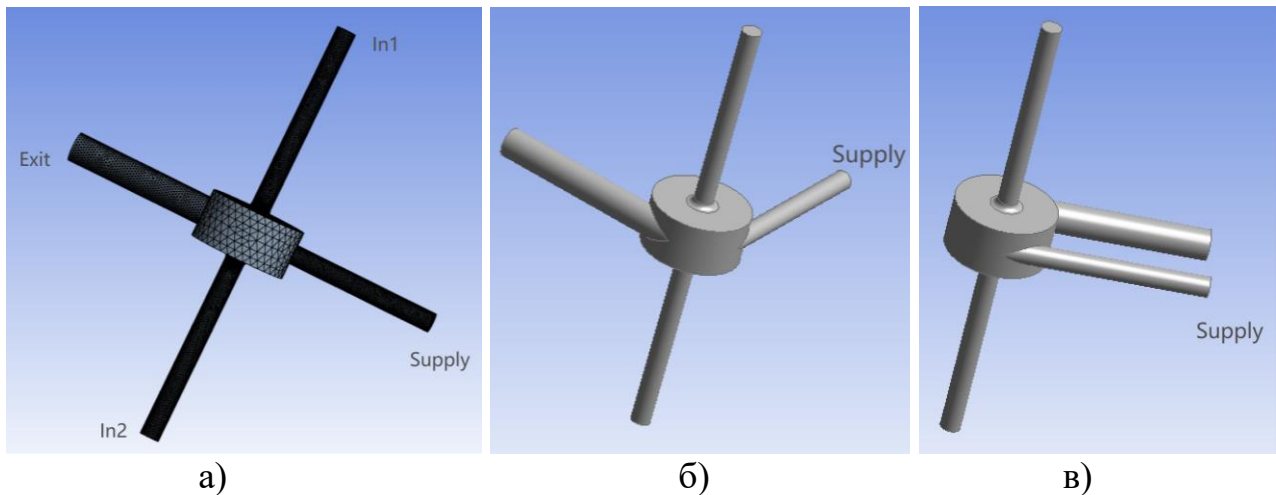


Рисунок 1 – Розрахункова модель ВКН:

- а) кут між тангенціальними каналами входу (Supply) та виходу (Exit) 0° , б) кут -90° , в) кут -180°

Математична модель наведена в джерелах [4, 6, 8, 9]. Рідина, що моделювалася – вода. В якості граничних умов виконано наступні налаштування: вхідний канал (Supply) – завдання повного тиску величиною 2 МПа, вихідний тангенціальний канал (Exit) – рівність нулеві статичного тиску; осьові канали (In1 та In2) – відкрита умова з нульовим статичним тиском. Для симуляції підготовлено три моделі нагнітача з кутами між тангенціальними каналами: 0° , 90° та 180° . Для спрощення порівняння результатів, інтегральні показники (ККД, витрата всмоктування через осьові канали Q_{in} / Q_s та тиск на виході в тангенціальному каналі $p_e + \rho V_e^2 / 2$) віднесено до характеристик базової конструкції з нульовим кутом між каналами.

На рис. 2 наведено порівняння ефективності перекачування води за різного кута між тангенціальними каналами. Оптимальним для конструкції без дренажного каналу є кут 0° . Це пояснюється тим, що більша частина енергії основного потоку потрапляє відразу у тангенціальний канал виходу без втрат під час руху й тертя об стінки вихрової камери.

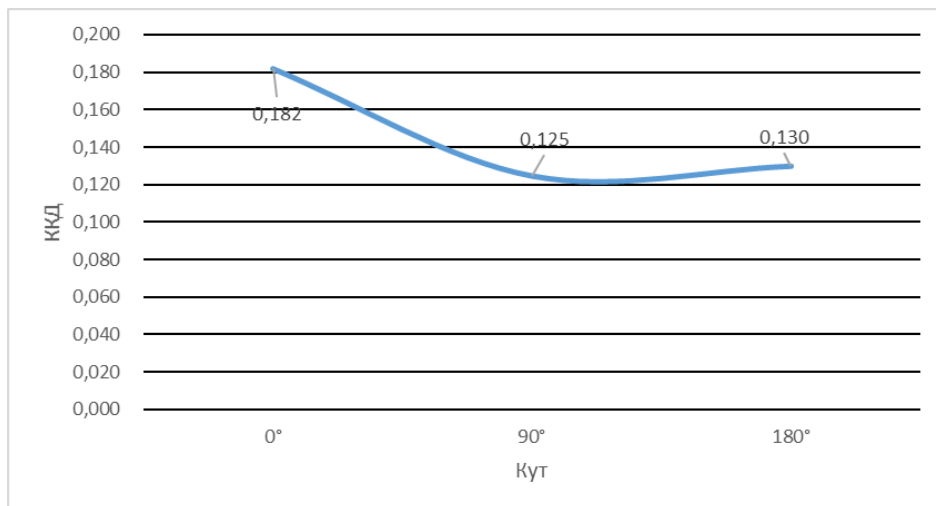


Рисунок 2 – Залежність ККД від кута між тангенціальними каналами

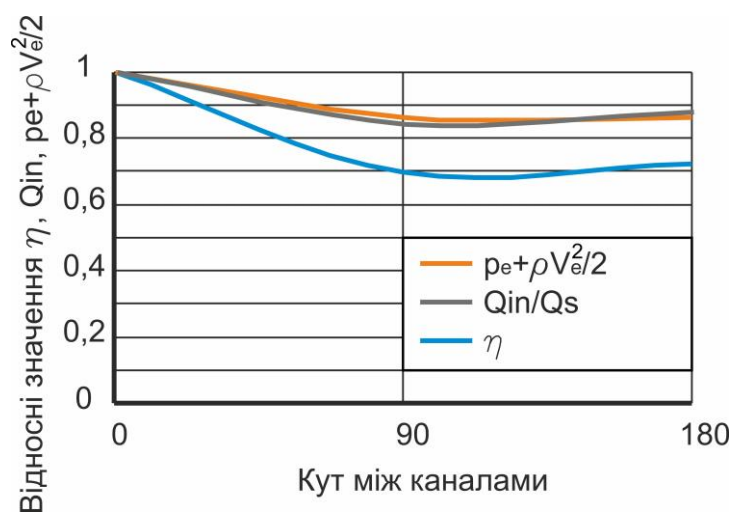


Рисунок 3 – Залежність відносних показників ефективності перекачування від кута між тангенціальними каналами

Висновки. На основі вирішення рівнянь Рейнольдса для течії води у ВКН проаналізовано вплив кута між тангенціальними каналами нагнітача на енергетичні характеристики: збільшення кута до 180° приводить до зменшення відносного ККД на 30%, тиску на виході – на 12%, витрати всмоктування – на 14%. Таким чином, оптимальною за енергетичними показниками перекачування, є конструкція з нульовим кутом між тангенціальним каналом входу активного середовища та тангенціальними каналами виходу.

Література

1. Роговий, А. С. (2017). Концепція створення вихорокамерних нагнітачів та принципи побудови систем на їх основі. Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, (3), 168-173.
2. Паневник, Д. (2021). Моделювання процесу гідроабразивної ерозії елементів свердловинного струминного насоса. Problems of Friction and Wear, (4

(93)), 115-121.

3. Халатов А.А. Теплообмен и гидродинамика в полях центробежных сил: в 4-х т. /А.А. Халатов, А.А. Авраменко, И.В. Шевчук. – Киев: Ин-т техн. теплофизики НАН Украины, 2000 - т.3: Закрученные потоки. – 477 с.

4. Сьомін, Д. О., Роговий, А. С. (2015). Вплив умов входу середовища, що перекачується, на енергетичні характеристики вихрекамерних насосів. Вісник Національного технічного університету ХПІ. Серія: Гідравлічні машини та гідроагрегати, (3), 130-136.

5. Роговой, А. С. (2016). Особенности режимов работы вихорочкамерных нагнѳтателей. Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета, (75), 120-128.

6. Роговий, А. С., Лук'янець, С. І., Нескорожений, А. О., Шудрик, О. Л., Толстий, П. В. (2022). Характеристики вихорочкамерних насосів під час перекачування нафти з за різного тиску всмоктування. Вісник Національного технічного університету ХПІ. Серія: Гідравлічні машини та гідроагрегати, (2), 54-58.

7. Математичне моделювання робочого процесу гідромашин: монографія / В. Е. Дранковський [та ін.] ; Нац. техн. ун-т "Харків. політехн. ін-т". – Електрон. текст. дані. – Харків, 2022. – 406 с.

8. Rogovyi, A., & Khovanskyu, S. (2017, August). Application of the similarity theory for vortex chamber superchargers. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 233, No. 1, p. 012011). IOP Publishing.

9. Rogovyi, A. (2016). Verification of fluid flow calculations in vortex chamber superchargers. Автомобильный транспорт, (39), 39-46.

Бороденко Юрій Миколайович, к. ф-м. н., доцент, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, docentmaster@gmail.com

КЛАСИФІКАЦІЙНИЙ АНАЛІЗ ЕЛЕКТРОННИХ СИСТЕМ ДОПОМОГИ ВОДІЮ ТА БЕЗПЕКИ РУХУ

У загальному сенсі основними задачами системи допомоги водієві (СДВ) це системи, які допомагають водієві керувати автомобілем, знижуючи його стомлюваність, і сприяють безпеці руху в транспортних режимах (старт, розгін/уповільнення, маневрування, гальмування, паркування). Системи цієї групи впливають на засоби керування автомобілем і органи сприйняття водія.

З огляду на велику різноманітність додаткових систем забезпечення безпеки і підтримки роботи водія складно запропонувати одну послідовну і логічну систему їх класифікації. Одні системи жорстко пов'язані між собою в «ієрархії» керування, інші являють різні ступені розвитку однієї системи, а треті базуються на вузлах і компонентах інших систем, або є програмним розширенням наявних в них функцій [1]. Таким чином, СВД можна класифікувати за низкою загальних ознак (рис. 1).