

віднесені виробничі системи, які складаються з певної кількості верстатів (від одного до дільниці, цеху, виробництва) з різним рівнем автоматизації. Незалежно від кількості задіяного в комплексі обладнання їх призначення і рівня автоматизації, верстатні комплекси мають певні функціональні можливості, які визначаються перш за все їх конструкцією. Сучасний розвиток механообробки характеризується широким використанням прогресивних технологій на основі розробки і впровадження багатокоординатного, високопродуктивного, високої вартості обладнання з ЧПК. Проте функціональні можливості такого обладнання, як правило не використовуються в певній мірі, що знижує ефективність їх застосування. Причиною цього є недоліки конструкторського, технологічного та функціонального характеру, які виявляються на етапах їх проектування, що значно стримує подальший розвиток, тому розширення функціональних можливостей верстатних комплексів є актуальною задачею, а її вирішення має велике науково-практичне значення.

УДК 621.22:621.694

Роговий А. С., д.т.н., доц.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків, Україна

ПЕРЕКАЧУВАННЯ ВОДОВУГІЛЬНИХ СУМІШЕЙ ЗА ДОПОМОГОЮ ВИХОРОКАМЕРНИХ НАГНІТАЧІВ

Анотація. Однією з основних проблем розвитку водовугільних технологій є швидке абразивне зношування проточних частин і ущільнень насосів. На сьогоднішній день, класичні насоси мають досить низькі показники надійності та довговічності. З іншого боку, використання струминної техніки, обмежено внаслідок низького ККД. В останні роки активно розвивається напрямок створення й проектування нових вихорокамерних насосів, що сполучають у собі позитивні властивості відцентрових і струминних нагнітачів. У даній роботі на основі числових досліджень визначений діапазон працездатності вихорокамерного насосу під час перекачування Бінгамівських рідин із різними реологічними параметрами. Визначено вплив в'язкості рідини на енергетичні характеристики насоса. Результати досліджень показують, що для забезпечення працездатності насоса при перекачуванні водовугільних сумішей необхідно підбирати необхідний тиск живлення активного потоку, а також розглядати питання розведення водоугольного палива водою для зниження в'язкості суміші й виходу енергетичних параметрів перекачування на задані значення.

Ключові слова: вихорокамерний нагнітач, математична модель, реологічні параметри, водовугільне паливо, надійність

В останні роки особливу увагу дослідників привертає можливість одержання енергії на основі спалювання різних суспензій на основі вугілля: деревного або кам'яного [1]. Спалювання таких водовугільних сумішей приводить до ряду переваг, у порівнянні із класичними видами палив: скорочення викидів шкідливих речовин в атмосферу, диверсифікованість видів палив, економічна й енергетична вигода. Дослідження водовугільних технологій, а також підвищення ефективності транспортування й спалювання водовугільного палива є актуальною проблемою, якою займаються дослідники в багатьох країнах світу. У водовугільну технологію входить кілька етапів: приготування, транспортування й спалювання. Вважають, що транспортування палива в основному залежить від його реологічної характеристики й, тому, звичайно оптимізують склад палива з урахуванням особливостей спалювання [2]. Однак, однією з переваг використання водовугільних технологій, є саме транспортування за допомогою трубопроводів, що дозволяє знизити витрати на переміщення, підібравши відповідні реологічні параметри рідини й, тим самим, знизивши витрати на транспортування. Тому що паливо є абразивним середовищем, що містить тверді частинки, то до насосів, що використають у процесі перекачування подібного середовища, пред'являються підвищені вимоги. Це пов'язане з тим, що на подібних середовищах насоси мають низькі показники надійності й довговічності, внаслідок швидкого

зношування механічних рухомих робочих органів насосів, а також їх ущільнень [3]. Використання струминної техніки, у таких випадках цілком виправдано, тому що показники надійності та довговічності струминних насосів на порядок перевищують показники насосів інших типів [4].

Останні дослідження, проведені в роботах [5, 6] показують, що новий тип струминних апаратів – вихорокамерні нагнітачі мають більш високі показники ефективності під час перекачування сипучих середовищ, у порівнянні зі звичайними прямоточними струминними насосами. Однак, ці дослідження були виконані під час перекачування сипучих середовищ (вугільний пил) за допомогою повітря. Густина сипучого середовища в кілька тисяч разів перевищувала густину активного потоку, що приводило до поліпшення ефективності роботи нагнітача [6].

Концепція створення вихорокамерні нагнітача заснована на використанні позитивних властивостей відцентрового й струминного насосів. Це можна зробити на основі вихрової камери змішання, що дозволяє зберегти ефективну передачу енергії, внаслідок дії відцентрової сили при забезпеченні максимальної надійності й довговічності, що властиво всій струминній техніці. Вихрова камера змішання дозволяє в процесі перекачування використати основні гідродинамічні ефекти обертових потоків: вакуум поблизу осі й надлишковий тиск на периферії. Ці ефекти виникають внаслідок дії відцентрової сили. За рахунок дії балансу поверхневих сил тиску й масової відцентрової сили відбувається збільшення енергії потоку, що перекачується [7].

Валідація математичної моделі проведена трьома способами:

1. порівняно характеристики течії гідросуміші в трубопроводі;
2. порівняно інтегральні параметри роботи вихорокамерного нагнітача на чистій воді;
3. проведено візуальне порівняння картин течії гідросуміші в експерименті з картинами течії, отриманими в розрахунку CFD.

При дослідженні роботи насоса на гідросумішах використалося водовугільне паливо, що представляє собою суміш добре здрібненого вугілля, води й пластифікатора. Крім того, часто на вугільних електростанціях доводиться транспортувати золу й шлаки як залишки після згоряння вугільного пилу, тому транспортування гідросуміші на основі золи й шлаків також перевірялося.

Для вирішення поставленої задачі використалися рівняння Нав'є-Стоксу, осереднені за Рейнольдсом й рівняння нерозривності. Моделювання реологічних параметрів Бінгамівської рідини здійснювалося за формулою:

$$\mu = \frac{\tau_0}{\dot{\gamma}} + \eta, \quad (1)$$

де τ_0 – початкова напруга зсуву, $\dot{\gamma}$ – швидкість зсуву між шарами рідини, η – структурна в'язкість.

Для розрахунку застосовувався пакет прикладних програм OpenFoam. Так як течія у нагнітачі є досить складною і при певних співвідношеннях вхідних параметрів може проявляти нестационарні властивості, то розрахунки проводилися в нестационарній постановці. При цьому контролювалося число Куранта-Фрідрікса-Леві, і встановлювалося значення $CFL < 0.5$ [8]. Спочатку проводився стаціонарний розрахунок, потім нестационарний. Крок за часом задавався величиною 10^{-5} с. Використався метод контрольних об'ємів й PISO-алгоритм (Pressure Implicit with Splitting of Operators). Використано числові схеми другого порядку. Розрахунки проводилися до того моменту, доки значення нев'язань за всіма основними параметрами не досягали значення 10^{-5} . Крім того, другою умовою зупинки розрахунків, була незмінність витрат у часі. Критерій сталості витрати обраний величиною 1 %.

Для коректного розрахунку течії в прикордонному шарі під час побудови сіткового розбиття використалися призматичні елементи для цих зон. Для визначення мінімально достатньої сітки зроблені обчислення на трьох різних сітках: 1 млн. елементів, 4 млн. елементів та 12 млн. елементів. На основі розрахунків, а також рекомендацій, наведених в [9], прийнято рішення про використання сітки з $y^+ < 4$ та 4 млн. елементів. В якості граничних умов були задані наступні параметри: у тангенціальному каналі входу задавався повний тиск, у вихідному тангенціальному каналі – статичний тиск різної величини для моделювання опору вихідного трубопроводу. Це дозволило одержати характеристику нагнітача. В осьових вхідних каналах задавалася відкрита границя з нульовим статичним тиском. Для моделювання реологічних параметрів задавалися структурна в'язкість і початкова напруга зрушення різних значень для одержання залежностей впливу цих параметрів на характеристики нагнітача. Інтенсивність турбулентності задана величиною 5% [10].

Візуалізація течії різних рідин у вихорокамерному нагнітачі дозволила підтвердити коректність й адекватність числового розрахунку. Спостерігалася розшарування водовугільної суміші за густиною й формування поблизу стінок вихрової камери суміші більшої концентрації, що фіксувалося нами також під час числових розрахунків [11, 12].

На відміну від експериментальних досліджень, у чисельних CFD-розрахунках є можливість завдання гранично низької в'язкості, і визначення залежності впливу цього параметра на характеристики ВКН. Зменшення структурної в'язкості значно збільшує показники ефективності. У процесі досліджень було виявлено, що найкращі показники ефективності відносяться до роботи насоса на рідині з мінімальною в'язкістю $\eta = 0,00001$ Пас. Збільшення в'язкості на один порядок, знижує ККД насоса приблизно на 20 %, що, в остаточному підсумку, при певній структурній в'язкості, приводить до неможливості роботи насоса й відсутності змішаного потоку у вихідному тангенціальному каналі. Розширити межі працездатності вихорокамерного нагнітача в цьому випадку, може використання особливостей його робочого процесу. Наприклад, подача чистої води, як активного потоку через вхідний тангенціальний канал, при певному співвідношенні витрат буде приводити до різних концентрацій вугільної суміші у вихідному потоці. Зміна концентрації впливає на реологічні параметри так, що можна їх підібрати таким чином, щоб забезпечити можливість перекачування. Зі збільшенням структурної в'язкості значення вакууму поблизу осі зменшується при однакових надлишкових тисках на периферії вихрової камери.

Список використаних джерел

1. Loureiro, L. *Development and rheological characterisation of an industrial liquid fuel consisting of charcoal dispersed in water* / Loureiro, L. M. E. F., Gil, P. B. F., de Campos, F. V., Nunes, L. J. R., Ferreira, J. M. F // *Journal of the Energy Institute*. – 2018. – V. 91. – №. 4. – P. 519-526.
2. Staroń, A. *Analysis of the useable properties of coal-water fuel modified with chemical compounds* / Staroń, A., Kowalski, Z., Staroń, P., & Banach, M. // *Fuel Processing Technology*. – 2016. – V. 152. – P. 183-191.
3. Rogovyi, A. *Energy performances of the vortex chamber supercharger* / A. Rogovyi // *Energy*. – 2018. – V. 163. – P. 52-60.
4. Соколов, Е.Я. *Струйные аппараты*. / Соколов Е.Я., Зингер Н.М. – 3-е изд., перераб. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 352 с.
5. Rogovyi, A. *Application of the similarity theory for vortex chamber superchargers* / Rogovyi A., Khovansky S. // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. – IOP Publishing, 2017. – V. 233. – №. 1. – P. 012011.
6. Rogovyi, A. *Verification of fluid flow calculations in vortex chamber superchargers* / A. Rogovyi // *Автомобильный транспорт*. – 2016. – №. 39. – С. 39-46.
7. 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.
8. Гарбарук, А.В. *Моделирование турбулентности в расчетах сложных течений: учебное пособие* / А.В. Гарбарук, М.Х. Стрелец, М.Л. Шур – СПб: Изд-во Политехн. ун-та, 2012. – 88 с.

9. *Besagni, G. Computational fluid-dynamics modeling of supersonic ejectors: Screening of turbulence modeling approaches / Besagni G., Inzoli F. //Applied Thermal Engineering. – 2017. – V. 117. – P. 122-144.*
10. *Han, X. On sensitivity of RANS simulations to uncertain turbulent inflow conditions /Han X., Sagaut P., Lucor D. //Computers & Fluids. – 2012. – V. 61. – P. 2-5.*
11. *Сѐмин, Д.А. Экспериментальные исследования рабочих характеристик вихрекамерных нагнетателей с двухсторонним всасыванием / Д.А. Сѐмин, А.Н. Левашов, Я.Н. Левашов, А.С. Роговой // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь: ТДАТУ, 2016. – Вип. 16, т.2. – С. 65-74.*
12. *Francis, J. Numerical simulation of observed flow phenomena in the supply and control ports and associated feed channels of a mini-vortex amplifier / Francis J., Parker D. //Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science. – 2016. – V. 230. – №. 5. – P. 756-781.*

УДК 625.17

Найда М.В. аспірант

Сумський державний університет, м.Суми, Україна.

АНАЛІЗ РОЗРАХУНКОВИХ ЗАЛЕЖНОСТЕЙ, ЩО ВРАХОВУЮТЬ ВПЛИВ КІНЦЕВОГО ЧИСЛА ЛОПАТЕЙ ВІДЦЕНТРОВОГО НАСОСА НА ЙОГО ТЕОРЕТИЧНИЙ НАПІР

***Анотація.** Актуальною задачею залишається вибір оптимальної залежності, яка б поєднувала в собі достатню кількість параметрів для визначення потрібної величини.*

Тому мета полягає в проведенні аналізу літературних джерел, які присвячені визначенню впливу кінцевого числа лопатей на напір насоса.

Представлений опис впливу кількості лопатей на напір насоса, а також рекомендації щодо вибору кількості лопатей та коефіцієнта, що враховує вплив кількості лопатей. Проведений аналіз літературних джерел присвячених визначенню впливу кінцевого числа лопатей відцентрових насосів на теоретичний напір. Встановлено, що для більшості авторів вихідними формулами для врахування кінцевого числа лопатей являються схожими або однаковими. Перевірочний розрахунок за наведеними в літературі формулами показує в більшості випадків однакові результати або близькі отримані кількості лопатей за формулами різних авторів.

***Ключові слова:** лопать, робоче колесо, напір, канал робочого колеса, кінцеве число лопатей, реальна рідина, параметр.*

Робоче колесо являється основним елементом насоса і в значній мірі визначає подальшу його конструкцію. Отже теорія лопатевого робочого колеса займає провідне місце в теорії насосів.

При розрахунку проточної частини колеса з густо розташованими лопатями (так, що між ними утворюються канали достатньої довжини в порівнянні з розмірами поперечного перерізу) базується на елементарній струйній теорії. Для розрахунку колеса з рідко розташованими лопатями, коли можна в першому наближенні знехтувати їх взаємним впливом, допустиме використання теорії та експерименту обтікання одиничного профіля.

Під час проектування насосу, а особливо при розрахунку робочого колеса, визначається кількість лопатей робочого колеса, а також вплив кінцевого числа лопатей на напір насоса.

Вибір числа лопатей необхідно проводити так, щоб забезпечити максимальний ККД робочого колеса. Якщо число лопатей вибрано занадто малим, то з'являються вихорові області (зони відриву потоку) в між лопатевих каналах, що є додатковим джерелом втрат. Занадто велика кількість лопатей також викликає збільшення втрат внаслідок збільшення поверхні тертя.

В даний час існує достатньо аналітичних залежностей впливу числа лопатей на величину напору. Кожен автор надає власні рекомендації для визначення числа лопатей та поправки на вплив кінцевого числа лопатей: Карл Пфлейдерер[1], Ломакін О.О[2], Овсянников Б.В. та Боровський Б.І.[3], Будов В.М.[4], Касьянов[5], Майзель-Стодола[6].