УДК 532.517.2:621.186.

Турик Володимир Миколайович, канд. техн. наук, доцент,

ORCID: [https://orcid.org/0000–0002–2357–4483](https://orcid.org/0000%E2%80%930002%E2%80%932357%E2%80%934483);

Коколенко Артур Олегович, аспірант,

ORCID: [https://orcid.org/0009–0007–0923–2173](https://orcid.org/0009%E2%80%930007%E2%80%930923%E2%80%932173)

Національний технічний університет України

 «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,

**ПРОБЛЕМИ АЕРОГІДРОДИНАМІКИ КОЛЕКТОРНИХ СИСТЕМ**

Пропонується аналіз аерогідродинамічних особливостей та проблем їх урахування при аналітичних дослідженнях робочих процесів фільтраційних, аспіраційних, теплообмінних та інших систем, заснованих на застосуванні колекторних трубопроводів з дискретною роздачею потоків по паралельно підключених до них каналах (або збірних колекторів дискретного підведення потоків з паралельно підключених каналів). При проєктуванні таких систем найчастіше ставляться доволі непрості задачі забезпечення рівномірного або заданого особливими умовами експлуатації розподілу середовища по паралельних каналах (відгалуженнях, які містять фільтрувальні пристрої, або є каналами тепловиділяючих елементів ядерних енергетичних установок, елементів теплообмінних поверхонь парових котлів, паротурбінних конденсаторів, охолоджувальних пристроїв транспортних енергоустановок, пальників промислових печей тощо). Попри відносну давність проблеми розв’язання таких задач, вона не втратила актуальності. Причина цього зумовлена не стільки випадками неповної ідентичності геометричних або теплових параметрів проточних трактів окремих міжколекторних каналів, скільки систематичною аерогідродинамічною нерівномірністю, яку пов’язують з так званим «колекторним ефектом», або «ефектом Бернуллі». Щодо роздачі потоків, то, спираючись на розгляд усередненої елементарної струминки вздовж колектору, цей ефект у першому наближенні пояснюють процесом повного (для нев’язкої рідини) або часткового (для реальної рідини) відновлювання динамічного тиску і виникненням додатного градієнта статичного тиску у бік глухого торця. У випадку збираючого колектору має місце від’ємний градієнт статичного тиску при зростанні динамічного тиску в напрямку виходу потоку з колектору.

Певна річ, на ефекти відновлення крім зміни маси колекторних потоків накладаються впливи гідравлічного опору, перебудови профілів швидкості, динамічні ефекти обміну імпульсами складових елементів потоків в зонах від’єднання або приєднання мас рідини (газу). В межах прийнятого наближення, за винятком ефектів обміну імпульсами, такі перетворення видів механічної енергії можна ілюструвати нетрадиційною формою запису рівняння Бернуллі для реальної нестисливої рідини:

 , (1)

де ,  – коефіцієнти Коріоліса; – коефіцієнт поновлення тиску ( при торцевому підведенні або відведенні середовища). Обидва коефіцієнти можуть бути визначені тільки за допомогою фізичних експериментів.

Цілком очевидно, що характер розподілу статичного тиску в колекторах визначає і розподіл середніх швидкостей і витрати рідини в паралельних міжколекторних каналах. Однак наведений підхід не можна вважати цілком коректним, оскільки рівняння Бернуллі (1) є справедливим лише для стаціонарних потоків постійної маси.

Альтернативний підхід полягає у використанні диференціальних рівнянь одновимірного руху рідини із змінною витратою. У загальному вигляді вони були отримані на основі теорії Мещерського динаміки точки змінної маси Маккавеєвим, Ненько, Петровим, Кожевніковим та іншими дослідниками [1, 2]. В одному з виглядів одновимірне рівняння потоків з неперервно змінною витратою можна представити таким чином:

 . (2)

Як видно, це рівняння відрізняється від звичайного рівняння Бернуллі в диференціальній формі для в’язкої рідини наявністю членів, що враховують інерційний ефект обміну імпульсами між масами основних потоків та тих, що від'єднуються або приєднуються до них. Однак інтегрування цих рівнянь передбачає знання закону зміни об’ємної витрати Q, залежності для складової на напрямок руху вектору локальної швидкості мас, що відокремлюються або приєднуються , законів зміни коефіцієнта Буссінеска , а також коефіцієнта опору  з урахуванням змінності витрати. В роботі Кожевнікова також пропонується диференціальне рівняння просторового руху рідини із змінною витратою у формі Громеки. Але для розв’язання рівняння разом з рівнянням нерозривності було прийнято низка зовсім неочевидних припущень. Застосування наведеного вище рівняння (2), або подібних до нього, наближено можна вважати відносно коректним (за наявності даних відносно ефектів обміну імпульсами складових елементів течії в зонах від’єднання або приєднання мас рідини, що складає неабияку проблему) лише для неперервної роздачі (збору) середовища, наприклад, через суцільну щілину або пористу структуру в стінці трубопроводу. Проблема принципово не може полегшуватися при намаганнях покрокового інтегрування рівняння (2), оскільки диференціальні рівняння передбачають неперервність функцій, яка грубо порушується навіть для ламінарних потоків з дискретною роздачою або збором рідини.

Щодо випадків дискретної зміни витрати, найбільш типових для теплообмінних апаратів, вентиляційних і аспіраційних систем різного призначення з підключеними до відгалужень фільтраційними пристроями, то безпосереднє використання диференціальних рівнянь для потоків змінної маси без радикальних спрощень дуже утруднено. Слід зауважити, що при прийнятті в рівнянні (2)  і  воно перетворюється в рівняння Бернуллі, можливість застосування якого для розрахунків аеродинаміки колекторів, як відомо, завдяки Талієву було покладено в основу теоретико-експериментальних робіт Ідельчика [2] щодо процесів роздачі та збору потоків в звичайних колекторних системах, а також в контактних, фільтрувальних та інших апаратах, в тому числі тих, що містять пористі елементи. Однак Ідельчик формально об’єднав всі види гідравлічних втрат в колекторах в один член, який передбачає експериментальне визначення. У виразах для так званих «характеристик колекторів», що залежать від геометрії і коефіцієнтів опору системи, введені поправочні коефіцієнти без хоча б опосередкованого фізичного змісту, які також потребують залучення експериментальних даних з урахуванням конструктивних особливостей систем.

В даному класі задач відомі також деякі спроби розв’язання диференціальних рівнянь динаміки в’язкої нестисливої рідини Нав’є-Стокса і рівняння нерозривності, наприклад в [3, 4], але, головним чином, для двовимірного ламінарного руху в трубах і кільцевих каналах з пористими стінками. Для турбулентного руху розрахунок колекторних течій на основі рівнянь Нав’є-Стокса суттєво ускладнюється, по-перше, через відсутність математичної обумовленості рівнянь при високих числах Рейнольдса, а по-друге, через складність вибору моделі турбулентності за умов різкої зміни параметрів течії в зонах дискретних роз’єднання або з’єднання потоків.

 **Висновки.**

1. Розрахунок характеристик в’язкої течії у колекторах, що роздають або збирають робоче середовище дискретно в потоках змінної маси, значно утруднене застосуванням диференціальних рівнянь руху навіть в одновимірній постановці.

2. Необхідна розробка методів розрахунку розподілу рідин в колекторних системах, які зводяться до скінченнорізницевих рівнянь з можливістю їх аналітичного розв’язання для зручності інженерного застосування.

**Література**

1. Петров Г.А. Гідравліка змінної маси : монографія. Харків : Вид-во Харківського держ. ун-ту, 1964. 224 с.

2. Чернишев Д. О. Аналіз диференціальних рівнянь, які описують рух рідини в перфорованих розподільчих трубопроводах змінного перерізу. *Наук.-техн. збірник* «*Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки».* Київ : КНУБА, 2004. Вип. 3. С. 113-118.

3. Yuan S. W., Finkelstein A. B. Laminar Pipe Flow with Injection and Suction through a Porous Wall. *Transactions of the ASME*. 1956. Vol. 78, No. 4. P. 719–724.

4. Hornbeck R.W., Rouleau W.T., Osterle F. Laminar Entry Problem in Porous Tubes. *The Physics of Fluids*. 1963. Vol. 6, No. 11. P. 1649–1654.