

Е.В. Білецький, канд. техн. наук (*XTEI KHEU, Харків*)

ВИЗНАЧЕННЯ ГІДРАВЛІЧНИХ ОПОРІВ ПІД ЧАС ТЕЧІЇ НЕНЬЮТОНІВСЬКИХ РІДИН

Практично всі технологічні процеси харчової й хімічної технології нерозривно пов'язані з тепловими процесами. При проведенні теплових процесів одне з головних питань, яке доводиться вирішувати - це вибір оптимального теплоносія. У великому різноманітті процесів теплообміну, як правило, цей вибір робиться на користь водяної пари, якій притаманна велика питома теплота паротворення. Однак тиск водяної пари занадто швидко збільшується з ростом його температури, що потребує застосування дорогого та складного обладнання,

тому використання водяної пари при температурах більш $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ є не доцільним. Високотемпературні теплоносії на сьогоднішній час є альтернативою водяній парі, до їх числа відносяться й велике сімейство кремнійорганічних рідин з широким діапазоном температур кипіння. Всі кремнійорганічні рідини є ступеневими тобто такими, в'язкість яких залежить від швидкості зрушення за ступеневим законом. Значення в'язкості кремнійорганічних рідин пов'язані з їх молекулярною масою, низькомолекулярні представники мають в'язкість близьку до в'язкості води, а високомолекулярні мають дуже високу в'язкість. Але у низькомолекулярних кремнійорганічних рід є суттєвий недолік низькі значення температур кипіння та спалаху (до 200°C). Ця обставина змушує як теплоносієм обирати такі рідини, у яких зазначені температури лежать вище 200°C але при цьому молекулярна маса цих рідин порядку 10^3 а в'язкість в $10\ldots 100$ разів перевершує в'язкість води. Такі властивості кремнійорганічних рідин дозволяють зробити ряд наступних висновків: по-перше – рух цих рідин у трубах та каналах нагрівальних пристроїв, переважно, буде ламінарним на відміну від руху води й пари, який є турбулентним; по-друге – температурні прикордонні шари будуть значно тонше, ніж гідродинамічні; по-третє – тонкість температурного прикордонного шару не зможе цілком компенсувати зменшення числа Рейнольдса, пов'язане з ламінарним характером теплообміну й невеликим значенням коефіцієнта теплопровідності кремнійорганічних рідин у порівнянні з водою. Інтенсивність теплообміну тісно пов'язана з рухом теплоносія, що визначається гідравлічним опором трубопроводів і теплообмінних пристроїв. Через значну в'язкість зростає навантаження на гідравлічне обладнання, при цьому оптимальний вибір обладнання та правильність розрахунків гідравлічних опорів течії ступеневих рідин є важливим питанням. Проблема тут полягає в тому, що сьогодні за місцеві опори ступеневих рідин відомо значно менше, ніж за ньютонівських. Течію будь-яких рідин можна розділити на дві групи: сталі й несталі, різницю між ними легко побачити на прикладі течії ньютонівської рідини в круглій трубі. Стала течія в круглій трубі може бути ламінарною (течія Пуазейля з параболічним профілем) та турбулентною (течія з логарифмічним профілем). Обидва профілі утворюються з довільних початкових або вхідних профілів після того, як рідина проходить певний шлях у трубі. Довжина цього шляху називається довжиною стабілізації або встановлення. Місцеві опори можна вважати незалежними й складати їх величини стосовно до рівняння Бернуллі тільки, якщо між ними відстань перевершує довжину стабілізації. При гідравлічному описі руху рідин по перше необхідно визначити довжину стабілізації, далі величини місцевих опорів, значення яких відомо з літератури. Виконання аналогічного обсягу досліджень стосовно до ступеневої рідини вимагає не менших зусиль. Однак ці зусилля можуть бути значно скорочені, якщо взяти до відома, що усе різноманіття місцевих опорів може бути зведене до меншого числа основних, з яких можна скласти інші місцеві опори. До цих основних варто віднести місцеві опори при раптовому розширенні або звуженні каналу, поворот каналу без зміни його поперечного перерізу й, можливо, деякі інші місцеві опори. Протікаючи через звуження й розширення, середня швидкість змінюється тільки за величиною, але не за напрямом. При протіканні через поворот, навпроти, величина середньої швидкості не змінюється, а міняється тільки напрямом. Вище сказане є справедливим і при течії будь-якої неньютонівської рідини, зокрема, зі ступеневим законом. Для аналізу течії у звуженнях, розширеннях і поворотах для ступеневої рідини варто проаналізувати течію ньютонівської рідини в ламінарному режимі й на початку турбулентного, враховуючи нелінійний характер ступеневої рідини. Для цього треба проаналізувати залежності місцевих опорів і опорів тертя від числа Рейнольдса стосовно до ньютонівської рідини, й потім замінити це число на число Рейнольдса ступеневої рідини. Дана процедура досить докладно описана в літературі обґрунтування її базується на наступному положенні: для рідини з будь-яким реологічним рівнянням стану можна ввести число Рейнольдса, яке є числовою мірою відносин сил інерції й тертя. У такий спосіб для побудови гідравліки ступеневої рідини необхідно проведення обчислювань довжини релаксації й визначення місцевих опорів при проходженні звужень, розширень і поворотів.