

УДК 664.8/9

РОЗВ'ЯЗОК ЗАДАЧІ ПРО РОЗПОДІЛ ТЕМПЕРАТУРИ У ВНУТРІШНЬОМУ ОБ'ЄМІ ТЕРМОСТАТА ЦИЛІНДРИЧНОЇ ФОРМИ

Пак А.О., доц., Мандражи О.А.

Державний біотехнологічний університет

Пак А.В., доцент

Українська інженерно-педагогічна академія

В дослідженні наведено візуалізацію наближеного розв'язку задач теорії тепломасообміну з використанням методу R-функцій для виділеного об'єму циліндричної форми. Відмічено, застосування наведеної моделі без урахування утворення та розвитку дисипативних структур не відбиває реальних розподілень температури в термостаті та їх кінетику під час індукованого тепломасообміну.

Ефективність інтенсифікації процесів тепло- та масообміну в термостаті з вологим колоїдним капілярно-пористим тілом (ККПТ) у його внутрішньому виділеному об'ємі лежить на шляху дослідження математичних моделей з урахуванням широкого діапазону змін теплофізичних параметрів та межових умов. При значних градієнтах температури взаємний вплив процесів тепло- та масообміну призводить до появи нових механізмів тепломасообміну (ТМО), вияви та дослідження яких можна здійснювати на основі аналізу початково-межових задач теорії ТМО. Розв'язки задач теорії ТМО про розподілення температури і вологовмісту в термостаті з трьома фазами, надають можливість виявляти особливості механізму і рушійні сили для процесів тепло- та масообміну та ефективно керувати ними [1-3].

Під час розгляду широкого класу крайових задач різної фізичної природи виникає необхідність у вирішенні диференціальних рівнянь в частинних похідних, в яких досліджувана область має складну конфігурацію. У таких випадках, як правило, використовуються чисельні методи: сіткові [2], варіаційні [3] та проєкційні [4]. Однак, кожен з них має свої переваги і недоліки. Так, сіткові методи володіють великою ефективністю алгоритму, але при цьому не точно враховують геометрію досліджуваного об'єкта. У разі варіаційних методів не завжди можна побудувати базисні функції, які задовольняли б всім необхідним умовам, тому їх використання обмежене [4]. Слід відмітити метод R-функцій [1], що володіє геометричною гнучкістю і універсальністю по відношенню до вибраного способу мінімізації функціоналу [5].

В теорії ТМО всебічно досліджені розв'язки задач лише для таких форм тіл, для яких використовуються інтегральні перетворення (необмежена пластина, циліндр нескінченної висоти, куля) [2-4]. У той же час такі практичні форми, як паралелепіпед, півкуля (або інші частини кулі), циліндр скінченної довжини, похила призма та ін., не стають предметом аналітичних досліджень. Це зумовлено тим, що будь-який метод повинен ураховувати як аналітичну, так і

геометричну інформацію задачі.

Метою дослідження є візуалізація наближеного розв'язку задач теорії ТМО з використанням методу R -функцій, отриманого в роботі [5], та застосування їх для описання ефекту індукованого тепломасообміну (ІнТМО). Візуалізація проводилась шляхом побудування розподілення температури під час ІнТМО у внутрішньому виділеному об'ємі термостата циліндричної форми, що містить три фази: газову, рідку та тверду.

Оскільки ідентифікувати ефект ІнТМО в термостаті можна за кінетикою температури (наявність ділянки кінетики з негативним прирощення температури – $dT < 0$), то скористаємось розробленими алгоритмами для знаходження розподілу температури у внутрішньому виділеному об'ємі термостата циліндричної форми, що містить три фази: газову, рідку, тверду (ККПТ). Обмежимося наведенням в тексті роботи наочних матеріалів.

На рис. 1 наведено розподілення полів температур за різних моментів часу під час ІнТМО в термостаті з циліндричною формою внутрішнього виділеного об'єму, отримані з використанням розробленої математичної моделі.

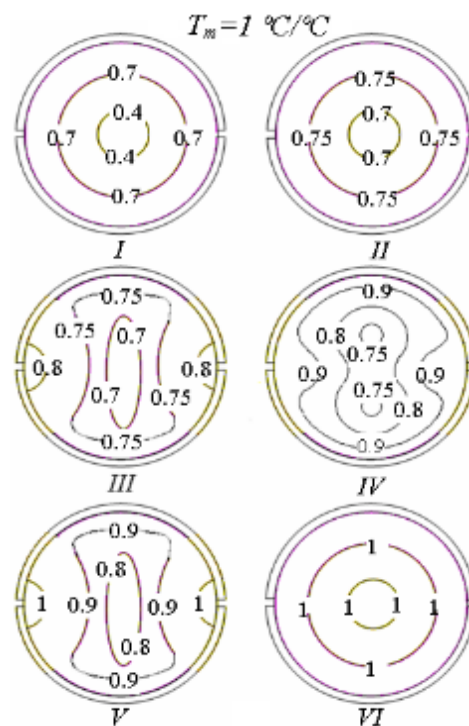


Рисунок 1 – Розподілення полів температур за різних моментів часу у внутрішньому виділеному об'ємі термостата циліндричної форми під час ІнТМО, отримані розв'язком задачі теорії ТМО з використанням методу R -функцій сумісно з методом малого параметра: *I, II* – нагрівання; *III, IV, V* – ТМО; *VI* – рівновага

Розподілення температур наведені для поперечного перерізу виділеного внутрішнього об'єму термостата. Рис. 1 *I, II* відповідають початку процесу, а саме етапу прогрівання внутрішнього середовища термостата з трьома фазами: газовою, рідкою та твердою (ККПТ). Внутрішнє середовище термостата

прогрівається і починається видалення системної води, причому поширення зони випаровування відбувається від обтюраторів (рис. 1 III, 1 IV). По мірі випаровування води температура шарів, які досягли свого кінцевого вологовмісту, підвищується (рис. 1 V). Рис. 1 VI відповідає завершенню процесу зневоднення – встановлюється рівновага за температурою та вологовмістом.

З отриманих результатів видно, що температура у внутрішньому виділеному об'ємі термостата циліндричної форми, не зменшується, тобто $dT \geq 0$, що свідчить або про «зрив» ефекту ІнтМО, або про відсутність його «запуску». Таким чином, застосування розробленої моделі, яка базується на класичних диференціальних рівняннях ТМО навіть з використанням методу R -функцій, без урахування утворення та розвитку дисипативних структур, тобто без урахування «запуску», «протікання» та «закінчення» ефекту ІнтМО, не відбиває реальних розподілень температури в термостаті та їх кінетику під час ІнтМО.

Прийнятні результати можна отримати, якщо для ефекту ІнтМО вирішувати не тепломасообмінну задачу, а теплову. При цьому врахування масообміну здійснювати через функцію, яка описує розсіяння теплової енергії на фазовий перехід води у газовий стан.

Необхідно відмітити, що розв'язки задачі про розподіл температури та вологовмісту у внутрішньому виділеному об'ємі термостата циліндричної та паралелепіпедної форми, що містять три фази, отримані методом R -функцій сумісно з методом малого параметра та сумісно з методом Бубнова–Гальоркіна, прийнятні для використання при виявленні особливостей механізму і рушійних сил для процесів тепло- та масообміну без енергії активації в тілах циліндричної та паралелепіпедної форми з точним урахуванням їх геометрії. Відзначене має практичну значимість для дослідження процесу зневоднення сировини з частинками циліндричної форми.

Список використаних джерел:

1. Погожих М. І. Наближений розв'язок задач теорії сушіння капілярно-пористих тіл складної форми / М. І. Погожих, М. С. Синєкоп, Д. О. Торяник, А. О. Пак // Science Rise – №3/2 (20). – 2016. – С.6-11.
2. Шутюк В.В. Математичне моделювання сушіння харчових продуктів перегрітою парою / В.В. Шутюк, С.М. Василенко, О.С. Бесараб Наукові праці НУХТ. – К. : НУХТ, 2013. – №49. – 84-87.
3. Kumar A. Implicit boundary method for finite element analysis using non-conforming mesh or grid / A. Kumar, S. Padmanabhan, R. Burla // International Journal for Numerical Methods in Engineering. – 2008. – Vol. 74 (9). – P. 1421–1447.
4. Trefethen Lloyd N. Numerical Analysis / Lloyd N. Trefethen // Princeton Companion of Mathematics. – Princeton University Press. – 2006. – 20 p.
5. Погожих М. І. Сумісне використання R -функцій і проєкційного методу в задачах теорії сушіння / М. І. Погожих, М. С. Синєкоп, А. О. Пак, М. А. Чеканов / Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі : зб. наук. пр. / [редкол. : О. І. Черевко (відпов. ред.) та ін.]. – Харків : ХДУХТ, 2016. – Вип. 1(23) – С. 284-293