

УЗАГАЛЬНЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ТЕПЛООБМІНУ В МЕЖАХ РЕГУЛЯРНОГО ТЕПЛОВОГО РЕЖИМУ

¹Вінницький національний технічний університет

Анотація

Для математичного опису теплових процесів запропоновано використання експериментально-розрахункового методу. Отримано критеріальне рівняння для визначення для прогнозування інтенсивності теплообміну в трифазних системах з обмеженою інформацією про теплофізичні властивості. Дослідження проводиться в діапазоні температур біотехнологічного процесу.

Ключові слова: математична модель, критеріальне рівняння теплообміну, експериментально-розрахунковий метод.

Abstract

For the mathematical description of thermal processes the use of experimental-calculation method is offered. The criterion equation for determination of heat exchange intensity in three-phase systems with limited information on thermophysical properties is obtained. The study is conducted in the temperature range of the biotechnological process.

Key words: mathematical model, criterion equation of heat transfer, experimental calculation method.

Вступ

Методичні основи синтезу включають математичну модель [1, 2], яка, в свою чергу, містить функцію мети (функцію якості). Функція якості є невід'ємною частиною математичного моделювання, яка характеризує енергоефективність систем переробки органічних відходів (СПОВ) [3].

Математичне формулювання задач проектування теплотехнологічних систем можна записати в такому вигляді [1-3]

$$\begin{aligned} &\text{знайти} && K(X, Y(X), S_j, A) \\ &\text{при} && B_{sj}(X, Y(X), S_j, A) \leq 0; \\ & && P_{sj}(X, Y(X), S_j, A) \leq 0; \\ & && X_{\min} \leq X \leq X_{\max}; Y_{\min} \leq Y \leq Y_{\max}; \\ & && S_j \in S_p; \quad S_p \subset S, \end{aligned}$$

де $K(X, Y(X), S_j, A)$ – функція мети; $B_{sj}(X, Y(X), S_j, A) \leq 0$ – система балансових рівнянь; $P_{sj}(X, Y(X), S_j, A) \leq 0$ – система рівнянь, що описують кінетичні процеси; $X_{\min} \leq X \leq X_{\max}; Y_{\min} \leq Y \leq Y_{\max}$ – система обмежень; X – сукупність незалежних змінних; Y – сукупність залежних змінних; S_j – j -та раціональна структура з кінцевої множини раціональних структур S_p , які є підмножиною можливої множини структур S ; A – зовнішні фактори [3].

Для математичного опису теплових процесів запропоновано використовувати експериментально-розрахунковий метод (ЕРМ) [4-7]. В обладнанні СПОВ, через використання різної комбінацій сумішей, для кожного конкретного випадку необхідно застосовувати окремі підходи: складати окремі математичні моделі, проводити окремий базовий експеримент [3].

Нам не відомі узагальнені критеріальні рівняння, які б описували великий клас задач в математичному моделюванні теплообміну в багатофазних та багатокомпонентних середовищах.

Трифазна система включає тверді частинки, колоїдну систему на водній основі і бульбашки газу.

Закономірності теплообміну в трифазних системах практично не вивчені.

Основні результати

Закономірності теплообміну в трифазних системах авторами досліджується з використанням «модельних рідин».

Дослідження теплообміну «модельних рідин» проводяться на експериментальній установці [8] в системі «навколишнє середовище I – тіло II», де «навколишнє середовище I» – вода, а «тіло II» – трифазна система розміщена в тонкостінному металевому циліндрі з фіксованою формою.

В роботі вивчається теплообмін в «модельних рідинах» з відомою інформацією про теплофізичні властивості – в цукровому розчині масової концентрації $c=50,60,70\%$.

Авторами вперше встановлено існування регулярного теплового режиму (PTR) в «модельних рідинах». Регулярний тепловий режим раніше встановлений лише для твердого тіла [9].

Коефіцієнти тепловіддачі $\overline{\alpha}_2^{\text{PTR}}$ визначаються з використанням результатів дослідження регулярного теплового режиму.

За результатами експерименту створюється масив даних по коефіцієнтам тепловіддачі $\overline{\alpha}_2^{\text{PTR}}$, в діапазоні регулярного теплового режиму для «модельних рідин», які в подальшому апроксимуються у вигляді критеріальної залежності [10] $\overline{Nu} = c \cdot Re^{n_1} \cdot Pr_p^{n_2} \cdot Ra^{n_3} \cdot \left(\frac{Pr_p}{Pr_{ct}}\right)^{0,25}$, параметри “C”, “n₁”, “n₂”, “n₃” приймають конкретні числові значення, де Nu₂ – критерій Нуссельта; Re – критерій Рейнольдса; Ra – критерій Ралея, $Ra = Gr_2 \cdot Pr_2$; $Gr_2 = (g \cdot \beta_2 \cdot \overline{\Delta T} \cdot H^3) / \nu^2$ – критерій Грасгофа; g – прискорення вільного падіння, м/с²; β_2 – коефіцієнт температурного розширення досліджуваного рідинного середовища, °C⁻¹; $\overline{\Delta T} = |\overline{T}_2 - \overline{T}_{ct}|$ – температурний напір; \overline{T}_2 – середньооб’ємна температура досліджуваного рідинного середовища, °C; \overline{T}_{ct} – середня температура стінки тонкостінного металевого циліндра, °C; Pr_{p2} – критерій Прандтля для середньооб’ємної температури досліджуваного рідинного; Pr_{ct} – критерій Прандтля для досліджуваного рідинного середовища по температурі стінки в процесі ітерацій; ν – кінематична в’язкість досліджуваного рідинного середовища, м²/с.

Результати обробки експериментів дозволили отримати наступне критеріальне рівняння, з коефіцієнтом детермінації $R^2 = 0,96$

$$\overline{Nu} = 0,0038 \cdot Re^{0,742} \cdot Pr_p^{0,456} \cdot Ra^{0,141} \cdot \left(\frac{Pr_p}{Pr_{ct}}\right)^{0,25},$$

яке реалізується в межах $100 < Re < 14000$, $4 \cdot 10^5 < Ra < 3 \cdot 10^{15}$.

Наведене вище критеріальне рівняння в подальшому використовується для прогнозування інтенсивності теплообміну в трифазних системах з обмеженою інформацією про теплофізичні властивості в діапазоні температур біотехнологічного процесу.

Висновки

1. Для математичного опису теплових процесів запропоновано використання експериментально-розрахункового методу. Для реалізації якого в процесі визначення інтенсивності теплообміну в трифазних системах потрібне критеріальне рівняння для «модельних рідин».

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Попырин Л. С. Математическое моделирование и оптимизация теплоэнергетических установок / Л. С. Попырин. – М. : Энергия, 1978. – 416 с.
2. Ткаченко Станислав Иосифович. Обобщенные методы расче-та теплогидродинамических процессов и применение их для оптимизации выпарных установок: диссерт. ... доктора технических наук : 05.14.06 / Ткаченко Станислав Иосифович. – Винница, 1987. – 440 с.
3. Ткаченко С. Й. Нові методи визначення інтенсивності теплообміну в системах переробки органічних відходів : монографія / С. Й. Ткаченко, Н. В. Пішеніна. – Вінниця : ВНТУ, 2017. – 148 с.
4. Ткаченко С. Й. Тепловіддача до багатоконпонентного середовища в умовах вимушеної і природної конвекції / Ткаченко С. Й., Резидент Н. В. // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. — 2006. — № 1. — С. 111—114.
5. Ткаченко С. Й. Нові аспекти застосування теорії подібності в теплотехнічних розрахунках систем біоконверсії / С. Й. Ткаченко, Н. В. Резидент // Електронний журнал Наукові праці ВНТУ. Енергетика та електротехніка. – 2009. – № 2.

6. Патент України на корисну модель № 24616, (51) МПК (2006.01) G01N25/18. Спосіб визначення коефіцієнта тепловіддачі за умов конвективного теплообміну органічної суміші / С. Й. Ткаченко, Н. В. Резидент ; заявник і власник патенту Вінницький національний технічний університет. – № 200701190 ; заявл. 05.02.07 ; опубл. 10.07.07, Бюл. № 10.
7. Ткаченко С. Й. Удосконалення експериментально-розрахункового методу / С. Й. Ткаченко, Н. В. Пішеніна, Н. В. Резидент // Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика : наук. Зб. – Дніпропетровськ, 2010. – № 2. – С. 171–183.
8. Г.Г.Гелетуха, П.П.Кучерук, Ю. Б.Матвеев, Т.В.Ходаковская. Перспективы производства биогаза в Украине. Возобновляемая энергетика», №3, 2011, с.73-77.
9. Кондратьев Г. М. Регулярный тепловой режим / Г. М. Кондратьев. – М. : Государственное издательство технико – теоретической литературы, 1954. – 408 с.
10. Михеев М. А. Основы теплопередачи. Изд. 2–е, стереотип / М. А. Михеев, И. М. Михеева. – М. : «Энергия», 1977. – 344 с.

Ткаченко Станіслав Йосипович – д-р. техн. наук, професор кафедри теплоенергетики, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: stahit6937@gmail.com.

Власенко Ольга Володимирівна – аспірант кафедри теплоенергетики, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: olgakysak7@gmail.com.

Tkachenko Stanislav Y. - Dr. Sc. (Eng.), Professor, Head of the Chair of Power Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: stahit6937@gmail.com.

Vlasenko Olga V. – postgraduate student, Head of the Chair of Power Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: olgakysak7@gmail.com.