

РЕГУЛЯРНИЙ РЕЖИМ НАГРІВАННЯ РІДИНИ В ОБМЕЖЕНОМУ ОБ'ЄМІ ЗАПОВНЕНОМУ РІДИНОЮ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Показано результати експериментальних досліджень інтенсивності теплообміну в цукровому розчині масовою концентрацією 50 і 60%, які оброблені методами регулярного теплового режиму. Проведено регресійний аналіз для визначення коефіцієнтів критеріального рівняння, результати експериментів зіставлено з іншими відомими залежностями.

Ключові слова: регулярний тепловий режим, регресійний аналіз, критеріальне рівняння, коефіцієнт детермінації, теплообмін.

Abstract

The presented results of experimental studies of the heat exchange process between water and viscous liquid. As a test liquid, was selected a sugar solution with a mass concentration of 50 and 60%. The results are processed by methods of regular thermal regime and regression analysis for determination of power indices in the criterion equation. The comparison of the results of the analysis of experimental data with different known dependencies is presented and a determination coefficient for each case is established.

Keywords: regular thermal regime, regression analysis, criterion equation, determination coefficient, heat exchange.

Вступ

Створення енергоефективного високоякісного теплообмінного обладнання переробної, харчової та інших галузей виробництва потребує інформації про умови протікання теплообмінних процесів, характеристики теплоносіїв в процесі, їхні властивості. Щорічно збільшується як номенклатура продуктів, що випускається, так і обладнання для їх виробництва. При чому властивості середовищ залишаються невідомими, тоді як така інформація необхідна для визначення кінематичних, динамічних, геометричних та конструктивних параметрів обладнання [1 – 3].

Основна частина

У роботі [1] запропоновано для дослідження інтенсивності теплообміну в'язких середовищ нестационарний метод регулярного теплового режиму (РТР). За умов дослідження тіла за допомогою РТР процес охолодження (нагрівання) тіла можна розділити в часі на дві стадії: стадію невпорядкованого (іррегулярного) процесу і стадію регулярного режиму. Стадія невпорядкованого процесу характеризується значним впливом на температурне поле тіла його початковими тепловими параметрами. Друга стадія настає після впорядкування температурних полів – «регулярна» стадія. РТР описується величиною, яку запропоновано А. В. Ликовим [4], що характеризує зміну теплових параметрів тіла за часом – темп охолодження.

Результати дослідження нестационарних теплових процесів методами квазістационарних показують розкид точок до 45% у визначенні коефіцієнта тепловіддачі до дослідного середовища [1], тоді як використання методів РТР дає змогу зменшити цей показник до 20%.

Авторами проведено дослідження інтенсивності теплообміну в обмеженому об'ємі, заповненому в'язкою рідиною – цукровий розчин концентрацією 50% і 60%. Умови проведення експерименту: вимушена конвекція в об'ємі, який має форму тонкостінного циліндра – дослідна рідина – цукровий розчин; коаксіальний канал – гарячий теплоносій – вода. Маса води знаходиться в межах 2,3 кг, дослідної речовини – 0,6...0,8 кг; зміна температур води 78...42 °С, розчину – 20...65 °С.

Температура навколишнього середовища за межами системи 22...30 °С. Швидкість обертання лопатевої мішалки 10...64 об/хв. Результати експериментів оброблено за допомогою методів РТР та проведено регресійний аналіз для визначення коефіцієнтів критеріального рівняння виду $Nu = C \cdot Re^{n_1} \cdot Pr^{n_2} \cdot Gr^{n_3} \cdot (Pr/Pr_c)^{n_4}$.

В результаті обробки експериментальних даних отримано наступні коефіцієнти критеріального рівняння: $C = 0,213$; $n_1 = 0,395$; $n_2 = 0,33$; $n_3 = 0,27$; $n_4 = 0,18$, коефіцієнт детермінації становить $R^2 = 0,958$. Критерії Re для розчину змінювались в межах $Re = 434...3200$; коефіцієнти кінематичної в'язкості – $\nu = 3,53 \cdot 10^{-6}...1,99 \cdot 10^{-5}$ м²/с; температурний напір між водою та розчином – $\Delta t = 6...28$ °С.

Проведено аналіз експериментальних даних за відомими критеріальними залежностями для оцінки інтенсивності теплообміну за умов в'язкісно-гравітаційного та перехідного режиму руху середовища. Так, обробка експериментальних даних за допомогою залежності для в'язкісно-гравітаційного режиму запропонованої у [5], виду $Nu = f(Re, Pr, Ra, Pr/Pr_c)$, дає показник коефіцієнта детермінації $R^2 = 0,513$. У роботі [6] запропоновано рівняння для оцінки інтенсивності теплообміну для дослідження харчових високов'язких продуктів під час перемішування у ємкісному обладнанні скребкового та шибєрного типу, структура рівняння $Nu = f(Re, Pr, \mu/\mu_c)$. Отриманий коефіцієнт детермінації R^2 за допомогою запропонованих залежностей знаходиться на рівні 0,62, що в загальному дає кращу збіжність результатів ніж попередній. Використання залежності для визначення інтенсивності тепловіддачі за умов перехідного руху рідини, описаної в [7], виду $Nu = f(Re, Pr, Pe_i)$, де Pe_i – поправка на умови процесу, дає $R^2 = 0,586$. Обробка результатів за іншими відомими залежностями дає менші значення коефіцієнта детермінації і недоцільна для використання в даних теплових та гідродинамічних умовах.

Висновки

На основі проведеного аналізу встановлено, що за умов обробки експериментальних даних методами РТР та апроксимації їх критеріальними рівняннями виду $Nu = f(Re, Pr, Gr, Pr/Pr_c)$ можливо досягти коефіцієнта детермінації R^2 на рівні 0,958. Оцінка експериментальних даних за іншими методиками дає значення коефіцієнта детермінації R^2 на рівні 0,513...0,62, що є недостатнім для оцінки інтенсивності теплообмінного процесу, який відбувається в експериментальній установці.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Використання методів регулярного режиму для визначення інтенсивності теплообміну в обмеженому об'ємі [Електронний ресурс] / С. Й. Ткаченко, Д. І. Денесяк // Енергоефективність в галузях економіки України-2017 : Матеріали міжнародної науково-технічної конференції : електронне наукове видання. – Вінниця : ВНТУ, 2017. – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/itb/egeu2017/paper/view/3361>. – Назва з екрана. – Дата перегляду: 20.10.2017.
2. Ткаченко С.Й. Нові методи визначення інтенсивності теплообміну в системах переробки органічних відходів: монографія / С. Й. Ткаченко, Н. В. Пішеніна. – Вінниця : ВНТУ, 2017. – 124 с.
3. Ткаченко С. Й. Теплообмін в системах біоконверсії / С. Й. Ткаченко, Н. В. Резидент. – Вінниця : ВНТУ, 2011. – 124 с.
4. Лыков А. В. Тепломассообмен. Справочник / А. В. Лыков. – М.: «Энергия», 1971. – 560 с.
5. Исаченко В. П. Теплопередача : учебн. для вузов / В. П. Исаченко [и др.]. – [3-е изд. доп.]. – М. : Энергия, 1975. – 488 с.
6. Николаев Б. В. Развитие научных основ интенсификации гидродинамических и тепловых процессов при обработке жиросодержащих пищевых продуктов в ёмкостном оборудовании с перемешивающими устройствами: дис. докт. техн. наук / Б. В. Николаев – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет низкотемпературных и пищевых технологий, 2009. – 584 с.
7. Гребенюк С. М. Расчеты и задачи по процессам и аппаратам пищевых производств / С. М. Гребенюк, Н. С. Михеева [и др.]. – М. : Агропромиздат, 1987. – 304 с.

Ткаченко Станіслав Йосипович – д. т. н., професор, завідувач кафедри теплоенергетики, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: stahit@mail.ru.

Резидент Наталія Володимирівна – к. т. н., доцент кафедри теплоенергетики, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: rezidentnv1@ukr.net

Денесяк Дмитро Іванович – аспірант кафедри теплоенергетики, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, E-mail: doc13energee@gmail.com.

Коба Павло Сергійович – студент групи ТЕ-14, факультет будівництва, теплоенергетики та газопостачання, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Stanislav Tkachenko – Dc. Sc., Professor, Heat of the power system, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: stahit6937@gmail.com

Nataliya Rezydent – Cand. Sc. (Eng.), Assistant Professor of power engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: rezidentnv1@ukr.net

Denesyak Dmitriy –Post-graduate student of the Department of Heat and Power Engineering, Vinnytsia National Technical University. Vinnytsya, e-mail: doc13energee@gmail.com.

Koba Pavel – student of the TE-14 group, Faculty of Civil Engineering, Heat and Power engineering and Gas Supply, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.