

## РЕГУЛЯРНИЙ ТЕПЛОВИЙ РЕЖИМ В БАГАТОКОМПОНЕНТНИХ БАГАТОФАЗНИХ СЕРЕДОВИЩАХ

Вінницький національний технічний університет

### *Анотація*

*Показано застосування методу регулярного теплового режиму для дослідження інтенсивності теплообміну та визначення еквівалентних коефіцієнтів теплопровідності в системах «вода в циліндричному об'ємі – тонка металева стінка – багатоконпонентне багатозфазне середовище в кільцевому об'ємі» і «вода в кільцевому об'ємі – тонка металева стінка – багатоконпонентне багатозфазне середовище в циліндричному об'ємі».*

**Ключові слова:** регулярний тепловий режим, теплообмін в багатоконпонентних багатозфазних середовищах, темп охолодження, надлишкова температура.

### *Abstract*

*The application of the method of the regular thermal mode for the study of heat exchange intensity and determination of equivalent coefficients of heat conductivity in systems «water in a cylindrical volume – a thin metal wall – a multicomponent multiphase medium in a ring volume» and «water in a ring volume – a thin metal wall – multicomponent multiphase medium in cylindrical volume» is shown.*

**Key words:** regular thermal mode, heat-exchange in in multicomponent multiphase environments, cooling rate, excess temperature.

### Вступ

Практична користь від регулярного теплового режиму – застосування швидкісних методів визначення теплофізичних властивостей різних матеріалів, а – калориметр,  $\lambda$  – калориметр, визначення інтенсивності тепловіддачі  $\alpha$  – калориметр та вирішення питань термометрії, гідрометрії та анемометрії. Методи регулярного теплового режиму для твердих тіл аналізуються в роботах [1–4]. В основі регулярного теплового режиму лежить теорія теплопровідності в твердих тілах, закон Фур'є.

Дана робота ставить за мету застосувати метод регулярного теплового режиму для прогнозування інтенсивності теплообміну в сумішах з обмеженою інформацією про теплофізичні властивості та визначення еквівалентних коефіцієнтів теплопровідності багатоконпонентних багатозфазних середовищ в реальних технологічних процесах.

### Основна частина

Регулярний тепловий режим в твердих тілах і вологих матеріалах (РТР 1). В разі перенесення теплоти в твердому тілі діє закон Фур'є. Результати висвітлені в [1, 2, 3] та ін.

Для твердих тіл різної геометричної форми температурне поле описується рівнянням виду [1]

$$\vartheta = \sum_{n=1}^{\infty} A_n U_n e^{-m_n \tau}. \quad (1)$$

Специфіка геометричних форм враховується множниками  $A_n$  і  $U_n$ .

В рівнянні (1) позначено  $A_n$  – постійний коефіцієнт, свій для кожного ряду, який не залежить від координат і часу та знаходиться з початкових умов;  $U_n = \cos(\beta_n(x/\delta))$ ;  $m$  – темп охолодження (нагрівання);  $\tau$  – час;  $n = 1, 2, 3, \dots$  – номер індексу.

В [3] зазначено, що регуляризація кінетики нагрівання тіла відбувається не тільки по температурним полям, а і по потокам теплоти, тому немає потреби розрізняти режими нагрівання I-го і II-го родів.

Регулярний тепловий режим експериментально реалізований в системах «вода в циліндричному

об'ємі – тонка металева стінка – багатокомпонентне багатофазне середовище в кільцевому об'ємі», в подальшому РТР2 і «вода в кільцевому об'ємі – тонка металева стінка – багатокомпонентне багатофазне середовище в циліндричному об'ємі», в подальшому РТР 3 [4–10].

Для аналізу процесів в рідинних системах РТР 2 і РТР 3, на відміну від твердих тіл, прийняли, що перенесення теплоти відбувається молекулярною теплопровідністю  $\lambda$  і конвекцією  $\lambda_{конв}$ .

$$\varepsilon_{\kappa} = \frac{\lambda_{екв}}{\lambda} = \frac{\lambda + \lambda_{конв}}{\lambda}. \quad (2)$$

Узагальнення наших експериментальних результатів проводили у вигляді залежності

$$\varepsilon_{\kappa} = f(Gr, Pr), \quad (3)$$

де  $Gr$  – безрозмірне число Грасгофа,  $Pr$  – безрозмірне число Прандтля.

Авторами проведені дослідження інтенсивності теплообміну в системах РТР 2 та РТР 3. При цьому виявлено, що на дослідному проміжку витримується співвідношення для логарифму надлишкової температури  $\ln(\vartheta) = f(\tau)$ , яке характерне для регулярного теплового режиму у твердих тілах різної форми [6 – 8]. Отримані експериментальні дані підтверджують можливість використання методу регулярного теплового режиму для дослідження інтенсивності тепловіддачі до багатокомпонентних багатофазних середовищ.

Метод регулярного теплового режиму доцільно також використовувати для такого складного питання як визначення еквівалентного коефіцієнта теплопровідності багатокомпонентного багатофазного середовища. В разі застосування методів регулярного теплового режиму коефіцієнт теплопровідності визначається в реальних умовах теплообміну, коли у каналах відбувається складний теплообмінний процес, який характеризується взаємним впливом висхідного і низхідного потоків рідини, виникненням циркуляційних контурів.

### Висновки

За результатами досліджень авторів встановлено, що на дослідному проміжку витримується співвідношення для логарифму надлишкової температури  $\ln(\vartheta) = f(\tau)$  для охолодження систем «вода в циліндричному об'ємі – тонка металева стінка – багатокомпонентне багатофазне середовище в кільцевому об'ємі» і «вода в кільцевому об'ємі – тонка металева стінка – багатокомпонентне багатофазне середовище в циліндричному об'ємі», яке характерне для регулярного теплового режиму у твердих тілах різної форми.

Отримані експериментальні дані підтверджують можливість використання методу регулярного теплового режиму для дослідження інтенсивності тепловіддачі до багатокомпонентних багатофазних середовищ та визначення еквівалентних коефіцієнтів теплопровідності в реальних умовах теплообміну.

Застосування методів регулярного теплового режиму дає змогу прогнозувати коефіцієнти тепловіддачі, визначати еквівалентні коефіцієнти теплопровідності в реальних умовах теплообміну, що поглиблює знання про механізми теплообміну у в'язких рідинних середовищах, підвищує точність оцінки інтенсивності теплообміну.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Исаченко В. П. Теплопередача / В. П. Исаченко и др. – М.: Энергия, 1975. – 488 с.
2. Кондратьев Г. М. Регулярный тепловой режим / Г. М. Кондратьев. – М.: Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1954. – 408 с.
3. Лыков А. В. Теория теплопроводности. – М.: Высшая школа, 1967. — 600 с. .
4. Карлслюу Г. Теплопроводность твердых тел / Г. Карлслюу, Д. Егер. – М.: Наука, 1964. – 488 с.
5. Осипова В. А. Экспериментальное исследование процессов теплообмена / В. А. Осипова – М.: Энергия, 1979. – 320 с.

6. Ткаченко С. Й. Експериментальне дослідження нестационарного теплообміну в суміші / С. Й. Ткаченко, Н. В. Резидент, Д.І. Денесяк // Наукові праці Вінницького національного технічного університету. – 2018. – № 1. – Режим доступу: <https://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/562>
7. Ткаченко С.Й., Резидент Н.В., Денесяк Д.І. Застосування методів регулярного теплового режиму для визначення інтенсивності теплообміну Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2018/paper/view/4865/3967>
8. Ткаченко С.Й., Резидент Н.В., Денесяк Д.І., Коба П.С. Регулярний режим нагрівання рідини в обмеженому об'ємі заповненому рідиною Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2018/paper/view/4867/3968>
9. Ткаченко С. Й. Теплообмін в системах біоконверсії / С. Й. Ткаченко, Н. В. Резидент. – Вінниця : ВНТУ, 2011. – 124 с.
10. 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.

**Ткаченко Станіслав Йосипович** – д. т. н., професор кафедри теплоенергетики, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: [stahit6937@gmail.com](mailto:stahit6937@gmail.com)

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

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

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