

ДИНАМІЧНА МОДЕЛЬ КОЖУХОТРУБНОГО ТЕПЛООБМІННИКА

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Запропонована математична модель кожухотрубного теплообмінника у вигляді рівняння динаміки, яким є залежність вихідної температури нагріваного теплоносія від температури грійного теплоносія і температури стінок труб.

Ключові слова: математична модель, температура, теплообмінник.

Abstract

The mathematical model of the shell-and-tube heat exchanger for the supervisor of the dynamics, the temperature of the heat of the heat and the temperature of the pipes, is simulated.

Keywords: mathematical model, temperature, heat exchanger.

Вступ

Математична модель повинна адекватно відображати сутність явищ, що протікають в об'єкті моделювання, і з допомогою певного алгоритму дозволяти прогнозувати поведінку об'єкта при зміні вхідних і керуючих параметрів. Повна математична модель включає в себе статичну і динамічну моделі, які відображають поведінку об'єкта в статиці і динаміці.

Метою роботи є розроблення динамічної моделі кожухотрубного теплообмінника, яка представляє собою опис об'єкта з допомогою системи диференціальних рівнянь і передавальних функцій.

Результати дослідження

Теплообмінник є об'єктом з розподіленими параметрами. Це означає, що значення величини, яку потрібно регулювати (температура) в різних точках об'єкта буде різним. Тому такі об'єкти описуються диференціальними рівняннями в часткових похідних.

Для спрощення його математичного опису при виведенні рівнянь динаміки приймемо ряд допущень:

- кількість теплоти, яка проходить в напрямку потоку як в теплоносіях, так і в стінці труби не враховується;
- використовуються середні значення температур за перерізом труб і зміна температури розглядається тільки в напрямку потоку;
- такі параметри як теплоємність, густина і коефіцієнти тепловіддачі вважаються постійними.
- механічною енергією в порівнянні з тепловою і втратами теплоти в навколишнє середовище знехтуємо.

Схематично теплообмінник показаний на рис. 1.

Розглянемо елементарний об'єм теплоносія між перерізами 1 і 2. В момент часу t кількість теплоти в елементі об'єму $F_{\text{MT}}dx$ рівна $F_{\text{MT}} \cdot \rho_1 \cdot c_1 \cdot \theta_1 \cdot dx$, де F_{MT} – живий переріз міжтрубного простору; ρ_1 – густина теплоносія; c_1 – теплоємність теплоносія; θ_1 – температура теплоносія; dx – відстань між перерізами 1 і 2.

Теплота, накопичена за проміжок часу dt в елементі $F_{\text{MT}}dx$

$$\frac{\partial(\rho_1 c_1 \theta_1)}{\partial t} F_{\text{MT}} dx dt. \quad (1)$$

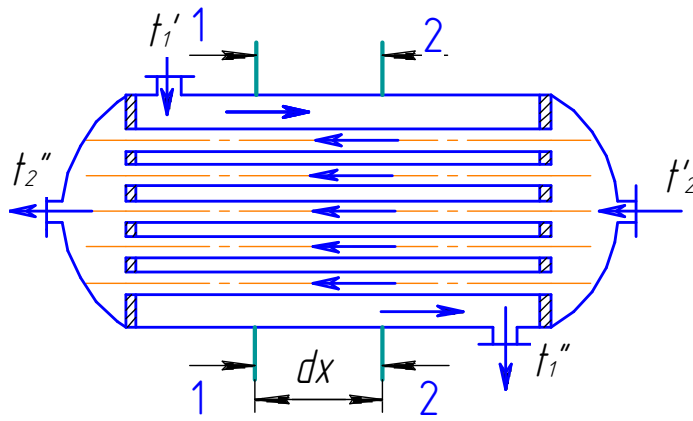


Рис. 1 – Кожухотрубний теплообмінник з протитоковою течією

Потік теплоти, що проходить через переріз 1 за проміжок часу dt

$$dQ_1 = \rho_1 \cdot c_1 \cdot \theta_1 \cdot w_1 \cdot F_{\text{MT}} \cdot dt, \quad (2)$$

де w_1 – швидкість руху теплоносія.

Внаслідок переміщення теплоносія результуючий приріст теплоти в елементі dx за проміжок часу dt складе

$$dQ_2 = \frac{\partial(\rho_1 c_1 \theta_1 w_1)}{\partial x} F_{\text{MT}} dx dt, \quad (3)$$

Притік теплоти в нагріваний теплоносій від грійного теплоносія внаслідок теплопередачі через стінку довжиною dx за час dt визначають, виходячи з закону теплопередачі. Це приріст рівний $Q F_{\text{тр}} dx dt$, де Q – потік тепла в одиниці об'єму, $F_{\text{тр}}$ – площа бічної поверхні труб в одиниці об'єму.

Використовуючи закон збереження енергії, отримаємо рівняння теплового балансу

$$\frac{\partial(\rho_1 c_1 \theta_1)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho_1 c_1 \theta_1 w_1)}{\partial x} + Q = 0. \quad (4)$$

Вважаючи, що ρ_1 , c_1 і w_1 є константами і враховуючи те, що теплота передається від середовища до труб, можна записати рівняння для потоку в міжтрубному просторі

$$\frac{d\theta_1}{dt} + \frac{G_1}{F_{\text{зн}} \cdot \rho_1} \cdot \frac{d\theta_1}{dx} = \frac{\alpha_1 \cdot d_2}{F_{\text{зн}} \cdot \rho_1 \cdot c_1} (\theta_1 - \theta_{\text{ст}}), \quad (5)$$

де G_1 – витрата грійного теплоносія, кг/с;

ρ_1 , c_1 – густина і масова теплоємність грійного теплоносія, кДж/(кг·К);

$F_{\text{зн}}$ – площа перерізу міжтрубного простору, м²;

d_2 – зовнішній діаметр труби, м;

θ_1 – температура грійного теплоносія;

x – довжина труби, м;

α_1 – коефіцієнт тепловіддачі від стінки до грійного теплоносія, Вт/(м²·К).

Введемо позначення

$$C_1 = \frac{G_1}{F_{\text{зн}} \cdot \rho_1}, \quad C_2 = \frac{\alpha_1 \cdot d_2}{F_{\text{зн}} \cdot \rho_1 \cdot c_1}. \quad (6)$$

Тоді

$$\frac{d\theta_1}{dt} + C_1 \cdot \frac{d\theta_1}{dx} = C_2 \cdot (\theta_1 - \theta_{\text{ст}}). \quad (7)$$

Рівняння для стінки труби

$$\frac{d\theta_{\text{ст}}}{dt} = \frac{\alpha_1 \cdot d_2 \cdot \pi}{K} (\theta_1 - \theta_{\text{ст}}) - \frac{\alpha_2 \cdot \pi \cdot d_1}{K} (\theta_{\text{ст}} - \theta_2), \quad (8)$$

де $K = \pi \cdot d_1 \cdot \delta \cdot \rho_{ст} \cdot c_{ст}$;

δ – товщина стінки труби, м;

$\rho_{ст}, c_{ст}$ – густина і масова теплоємність матеріалу стінки труби, кДж/(кг·К);

α_2 – коефіцієнт тепловіддачі від стінки до нагріваного теплоносія, Вт/(м²·К)

d_1 – внутрішній діаметр труби, м;

θ_2 – температура нагріваного теплоносія, °С.

Введемо позначення

$$C_3 = \frac{\alpha_1 \cdot \pi \cdot d_2}{K}, \quad C_4 = \frac{\alpha_2 \cdot \pi \cdot d_1}{K}. \quad (9)$$

Тоді

$$\frac{d\theta_{ст}}{dt} = C_3 \cdot (\theta_1 - \theta_{ст}) - C_4 \cdot (\theta_{ст} - \theta_2). \quad (10)$$

Рівняння для потоку в трубі

$$\frac{d\theta_2}{dt} + \frac{G_2}{F_{вн} \cdot \rho_2} \cdot \frac{d\theta_2}{dx} = \frac{\alpha_2 \cdot d_1}{F_{вн} \cdot \rho_2 \cdot c_2} (\theta_{ст} - \theta_2), \quad (11)$$

де G_2 – витрата нагріваного теплоносія, кг/с;

ρ_2, c_2 – густина і масова теплоємність нагріваного теплоносія, кДж/(кг·К);

$F_{вн}$ – живий переріз труб, м².

Введемо позначення

$$C_5 = \frac{G_2}{F_{вн} \cdot \rho_2}, \quad C_6 = \frac{\alpha_2 \cdot d_1}{F_{вн} \cdot \rho_2 \cdot c_2}. \quad (12)$$

Тоді

$$\frac{d\theta_2}{dt} + C_5 \cdot \frac{d\theta_2}{dx} = C_6 \cdot (\theta_{ст} - \theta_2). \quad (13)$$

Рівнянням динаміки є залежність вихідної температури нагріваного теплоносія θ_2 від температури гріючого теплоносія θ_1 і температури стінок труб $\theta_{ст}$.

$$\frac{d\theta_2}{dt} + C_5 \cdot \frac{d\theta_2}{dx} = C_7 \cdot \frac{d\theta_1}{dt} + C_8 \cdot \frac{d\theta_1}{dx} + C_9 \cdot \frac{d\theta_{ст}}{dt}, \quad (14)$$

$$\text{де } C_7 = \frac{F_{зн} \cdot \rho_1 \cdot c_1}{F_{вн} \cdot \rho_2 \cdot c_2 \cdot \pi}; \quad C_8 = \frac{G_1 \cdot c_1}{F_{вн} \cdot \rho_2 \cdot c_2 \cdot \pi}; \quad C_9 = \frac{d_1 \cdot \delta \cdot \rho_{ст} \cdot c_{ст}}{F_{вн} \cdot \rho_2 \cdot c_2}.$$

Висновки

Використання даної математичної моделі дозволяє виконати дослідження впливу температури, витрати теплоносіїв і розмірів апарату на процес теплопередачі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Тарасик В. П. Математическое моделирование технических систем / В. П. Тарасик. – Минск : Издательство «Дизайн ПРО», 2004. – 640 с.
2. Кафаров В. В. Математическое моделирование основных процессов химических производств / В. В. Кафаров, М. Б. Глебов. – М. : Высш. шк., 1991. – 400 с.
3. Маньковский О. Н. и др. Теплообменная аппаратура химических производств. Инженерные методы расчёта / Под ред. П. Г. Романкова и М. И. Курочкиной – Л. : Химия, 1976. – 368с.

Співак Олександр Юрійович — науковий керівник, канд. техн. наук, доцент кафедри теплоенергетики, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail:spivak000@gmail.com.

Мазур Володимир Іванович — студент групи ТЕ-19м(зв), факультет будівництва теплоенергетики та газопостачання, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

Савенко Олександр Анатолійович — студент групи ТЕ-19м, факультет будівництва теплоенергетики та газопостачання, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

Штуй Олександр Ігорович — студент групи ТЕ-19м, факультет будівництва теплоенергетики та газопостачання, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

Spivak Olexandr Y. — scientific supervisor, Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of Building Heating and Gas Supply, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail:spivak000@gmail.com.

Mazur Volodymyr I. — student of group TE-19m(zv), department of Building Heating and Gas Supply, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

Savenko Olexandr A. — student of group TE-19m, department of Building Heating and Gas Supply, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

Shtyi Olexandr I. — student of group TE-19m, department of Building Heating and Gas Supply, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.