

УДК 662.666.3

Д. О. Ковалюк, канд. техн. наук

РОЗРАХУНОК СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ КОНТУРОМ НАГРІВАННЯ СИНІЛЬНОЇ КИСЛОТИ

Виконано розрахунок системи керування теплообмінником для нагрівання синільної кислоти. Отримано математичну модель об'єкта у вигляді перехідної характеристики каналу керування та розраховано параметри регулятора за інтегральними показниками якості.

Вступ та постановка задачі

Синільна кислота займає важливе місце в народному господарстві, а її виробництво характеризується високим рівнем точності, оскільки відхилення від заданих технологічних параметрів спричиняє небезпеку для робочого персоналу, забруднення навколишнього середовища та великі матеріальні збитки. Тому автоматизація цього процесу та розробка системи керування є актуальною.

Найпоширенішим на сьогодні є виробництво синільної кислоти за методом Андрусова, одним з етапів якого є її нагрівання. Синільну кислоту підігрівають до заданих параметрів у протитечійному теплообміннику типу «труба в трубі», схема якого подана на рис. 1. В цьому випадку розглядається процес теплообміну між двома рідинами, які протікають в паралельно розміщених трубках, коли рідина, що нагрівається, знаходиться у зовнішній трубці. Аналіз робіт, в яких було висвітлено це питання, показує, що, створюючи системи керування, або отримують експериментальну характеристику теплообмінника з подальшою її апроксимацією передатною функцією певної структури, або розглядають спрощений варіант моделі теплообмінника як об'єкта із зосередженими параметрами. Це негативно впливає на точність розрахунків, але може бути підкориговано за рахунок створення моделі теплообмінника як об'єкта з розподіленими параметрами.

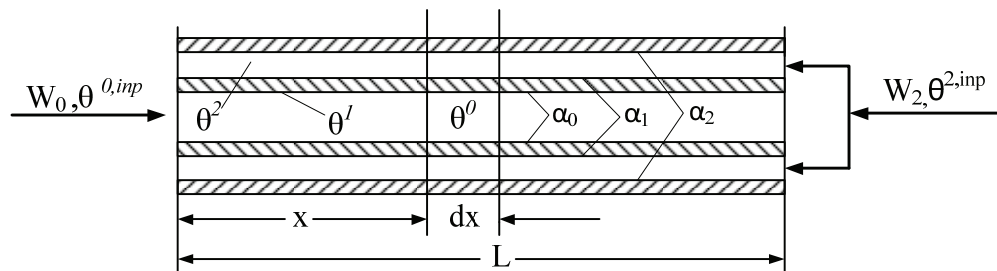


Рис. 1. Розрахункова схема теплообмінника «труба в трубі»

На рис. 1: θ^0 , θ^1 , θ^2 — температура нагрівачої води, стінки трубопроводу, кислоти у міжтрубному просторі; α_0 , α_1 , α_2 — коефіцієнти тепловіддачі на відповідних поверхнях; L — довжина теплообмінника; W_0 , W_2 — швидкості теплоносіїв.

Метою роботи є підвищення точності керування контуром нагрівання синільної кислоти за вдяки використанню розробленої математичної моделі теплообмінника у вигляді об'єкта з розподіленими параметрами.

Моделювання теплообмінника

Методика отримання математичної моделі теплообмінника «труба в трубі» відома [1] і базується на основі матеріального балансу. Припустивши, що усі частинки теплоносія (гарячої води) мають однакові швидкості W_0 , а температура теплоносія в межах поперечного перерізу внутрішньої труби дорівнює θ^0 (усереднена в межах перерізу), запишемо елементарний вираз для теплового балансу для елемента теплоносія в перерізі dx :

$$\left\{ W_0 S_0 \rho_0 \theta_0 - \left[W_0 S_0 \rho_0 \theta_0 + \frac{\partial}{\partial x} (W_0 S_0 \rho_0 \theta_0) dx \right] - \alpha_0 \rho_0 dx (\theta_0 - \theta_1) \right\} \partial t = \partial (S_0 dx \rho_0 c_0 \theta_0). \quad (1)$$

Після спрощення отримуємо:

$$T_0 \frac{\partial \theta_0}{\partial t} + T_0 W_0 \frac{\partial \theta_0}{\partial x} + \theta_0 = \theta_1, \quad (2)$$

де $T_0 = \frac{S_0 \rho_0 c_0}{\alpha_0 \rho_0}$, $S_0 = \pi r_0^2$ — площа поперечного перерізу внутрішньої труби; r_0 — внутрішній радіус внутрішньої труби; W_0 — швидкість потоку речовини в трубопроводі; ρ_0, c_0 — теплофізичні характеристики; α_0 — коефіцієнт теплообміну; θ_0, θ_1 — температура нагріваючої води та стінки трубопроводу, відповідно.

Аналогічно до рівняння (1), враховуючи тепловіддачу від стінки трубопроводу до кислоти та від кислоти до стінки зовнішньої труби, можемо записати всю модель [1]:

$$\begin{cases} T_0 \frac{\partial \theta_0}{\partial t} + T_0 W_0 \frac{\partial \theta_0}{\partial x} + \theta_0 = \theta_1; \\ T_1 \frac{\partial \theta_1}{\partial t} + \theta_1 = b_0 \theta_0 + b_1 \theta_2; \\ T_2 \frac{\partial \theta_2}{\partial t} - T_2 W_2 \frac{\partial \theta_2}{\partial x} + \theta_2 = \theta_1. \end{cases} \quad (3)$$

Коефіцієнти T_1, T_2, b_0, b_1 — вводяться для спрощення запису системи рівнянь відносно шуканих змінних. В дійсності це — числові коефіцієнти.

За канал керування вибираємо залежність «температура гарячої води на вході — температура синильної кислоти на виході». Для отримання такої залежності необхідно розв'язати систему (3). Найдоцільнішим для цього є метод кінцевих різниць, що передбачає заміну похідних кінцевими різницями. Покажемо це на прикладі останнього рівняння системи:

$$T_2 \frac{\partial \theta_2}{\partial t} - T_2 W_2 \frac{\partial \theta_2}{\partial x} + \theta_2 = \theta_1. \quad (4)$$

Замінімо похідні за часом і координатами на кінцеві різниці:

$$T_2 \frac{\theta_{2,s,v+1} - \theta_{2,s,v}}{\tau} - T_2 W_2 \frac{\theta_{2,s,v} - \theta_{2,s-1,v}}{h} + \theta_{2,s,v} = \theta_{1,s,v}. \quad (5)$$

Виразимо значення температури в наступний момент часу

$$\theta_{2,s,v+1} = \theta_{2,s,v} + \frac{\tau}{T_2} \left[-\frac{T_2 W_2}{h} \left(\frac{\theta_{2,s,v} - \theta_{2,s-1,v}}{h} \right) - \theta_{2,s,v} + \theta_{1,s,v} \right], \quad (6)$$

розкривши дужки і звівши подібні:

$$\theta_{2,s,v+1} = \theta_{2,s,v} + \left(1 - \frac{\tau}{T_2} - \frac{\tau}{T_2} \cdot \frac{T_2 W_2}{h} \right) \theta_{2,s,v} + \frac{\tau}{T_2} \frac{T_2 W_2}{h} \theta_{2,s-1,v} + \frac{\tau}{T_2} \theta_{1,s,v}. \quad (7)$$

Аналогічно записуються значення температур в наступний момент часу і для інших рівнянь моделі динаміки. Для подальшого розрахунку використовувались значення технологічних параметрів та теплофізичні властивості, показані у табл. 1.

Таблиця 1

Значення параметрів статичного режиму

Назва параметра	Позначення в програмі	Числове значення
Довжина теплообмінника, м	Lng	2
Внутрішній діаметр внутрішньої труби, м	D0	0,053
Зовнішній діаметр внутрішньої труби, м	D1	0,055
Діаметр зовнішньої труби, м	D2	0,078
Швидкість нагріваючої води, м/с	W0	7,571

Назва параметра	Позначення в програмі	Числове значення
Швидкість синильної кислоти, м/с	W2	17,918
Температура кислоти на вході, °С	Teta2inp	10
Температура теплоносія на вході, °С	Teta0inp	60

Для розрахунку моделі (3) написана програма в середовищі Matlab, основні фрагменти якої подано нижче.

```

%готуємо масив температур для подальшого використання
for s = 1 : m
    Teta0(s) = 0; Teta1(s) = 0; Teta2(s) = 0; Teta3(s) = 0;
end;

%нульові початкові умови
T0inp = 0; T2inp = 0;

%вибір входу для подання 1-го ступінчастого сигналу
switch Ninp
    case 0
        T0inp = 1;
    case 1
        T2inp = 1;
end;

%цикл по часу спостереження перехідної характеристики
for z = 1:L
    time(z) = dt*z;

    % цикл по кількості кроків інтегрування
    for s = 1:ks

        %procedure step – цикл по довжині труби
        for j = 2:m-1
            Tet0(j) = f0*Teta1(j) + f2*Teta0(j) + f1*Teta0(j-1);
            Tet1(j) = f4*Teta1(j) + f5*Teta0(j) + f6*Teta2(j);
            if Nr==1
                Tet2(j) = f9*Teta2(j) + f8*Teta2(j-1) + f10*Teta1(j);
            else
                Tet2(j) = f9*Teta2(j) + f8*Teta2(j+1) + f7*Teta1(j);
            end;
        end;
        Tet0(1) = T0inp;
        if Nr == 1
            Tet2(1) = T2inp; else
            Tet2(m) = T2inp;
        end;
        Teta0 = Tet0; Teta1 = Tet1; Teta2 = Tet2;
        Tet0 = []; Tet1 = []; Tet2 = []; Tet3 = [];
    end;

    %записуємо у масив перех характеристики - значення потрібного виходу
    switch Nout
        case 0
            Ht(z) = Teta0(Nx);
        case 1
            Ht(z) = Teta1(Nx);
        case 2
            Ht(z) = Teta2(Nx);
    end;
end;
plot(time, Ht, 'r'); hold on

```

В результаті роботи програми отримано масив ординат перехідної характеристики каналу керування, показаний на рис. 2.

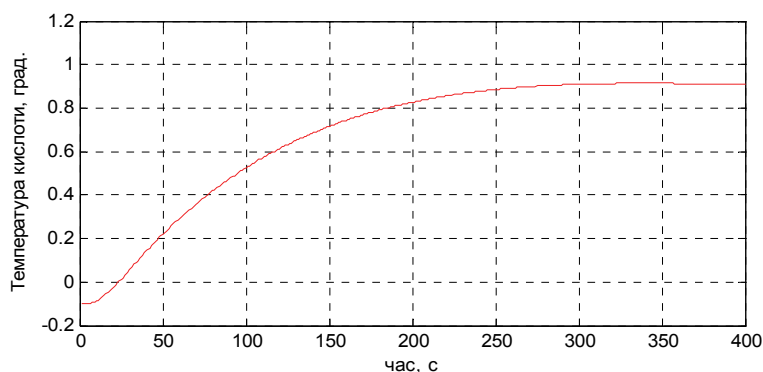


Рис. 2. Перехідна характеристика каналу керування

Маючи математичну модель об'єкта у вигляді масиву ординат перехідної характеристики, можна виконати синтез системи керування. Тут можливі декілька варіантів:

1. Апроксимувати перехідну характеристику та отримати передатну функцію каналу керування (у формі аперіодичної ланки).
2. Здійснити перехід у частотну область і виконати синтез системи керування за частотними показниками якості.

В цій роботі, враховуючи необхідність забезпечення точності керування, за показники якості системи обрано інтегральні показники, що забезпечують мінімальне відхилення перехідної характеристики від задавального впливу

$$E_1 = \int_0^{\infty} \varepsilon^2 dt, \quad (8)$$

де ε — сигнал неузгодження.

Результати

Для розрахунку системи керування використано програмне забезпечення [3], зміст якого полягає в такому: 1 — задаються початкові параметри регулятора; 2 — розраховується перехідна характеристика системи і відповідний показник якості на часовому інтервалі; 3 — змінюється значення параметрів регулятора в сторону зменшення показника якості (градієнтний метод).

Таблиця 2

Результати настроювання системи керування

Регулятор	T_i	kr	E_1
Пі-(за замовчуванням)	10	1	124
Пі-оптимізовані	20	1,22	46,01

Висновки

Таким чином, в роботі отримано перехідну характеристику каналу керування теплообмінника, на основі якої проведено розрахунок параметрів регулятора за інтегральними показниками якості. Наукова новизна роботи полягає в розробці моделі теплообмінника процесу нагрівання синильної кислоти як об'єкта з розподіленими параметрами, а практична цінність — в її програмній реалізації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Жученко А. И. Динамика объектов с распределенными параметрами : учебн. пособ. / А. И. Жученко, А. И. Кубрак, И. М. Голинко. — К. : ЕКМО, 2005. — 121 с.
2. Ковалюк Д. О. Моделирование систем управления в инструментарии Control System Toolbox / Д. О. Ковалюк // Автоматика — 2012 : тези доповідей 19 міжнародної конференції з автоматичного управління; Київ 26—28 вересня 2012р. — К. : НУХТ, 2012. — С. 368—369.
3. Кубрак А. І. Комп'ютерна оптимізація системи керування за інтегральними показниками якості / А. І. Кубрак // Комп'ютерні системи та інформаційні технології. — 2011. — С. 55—59.

Рекомендована кафедрою теплоенергетики

Стаття надійшла до редакції 22.01.2013

Рекомендована до друку 4.03.2013

Ковалюк Дмитро Олександрович — доцент кафедри автоматизації хімічних виробництв.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Київ