

## МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ПРОПІЛЕНГЛІКОЛЬОВОГО КОНТУРУ СИСТЕМИ ХОЛОДОПОСТАЧАННЯ ПТАХОФАБРИКИ

Семенюк Д. П., к.т.н., доц., e-mail: [dmitriy.semeniuk@gmail.com](mailto:dmitriy.semeniuk@gmail.com)

Якушенко Є. М., к.т.н., доц., e-mail: [papelats.ey@gmail.com](mailto:papelats.ey@gmail.com)

Державний біотехнологічний університет

**Актуальність дослідження.** Промислове обладнання застосовується на великих підприємствах з переробки продуктів (м'яса, риби, птиці, заморожених продуктів тощо), на пивоварних підприємствах, молокозаводах. Важливою частиною застосування промислового обладнання є впровадження енергозберігаючих технологій. Тому завдання проектування промислових систем холодопостачання є актуальним і потребує ретельного всебічного вивчення. У зв'язку зі складною економічною ситуацією в Україні важливе значення надається технічно та економічно грамотному обґрунтуванню прийнятих рішень.

**Мета досліджень.** На птахофабриках після забою та потрошення тушок птиці необхідно знизити їх температуру. Тушки з конвєсера надходять спочатку у ванну з холодною проточною водою з водопроводу або артезіанської свердловини, де частково охолоджуються, а потім надходять у ванну з крижаною водою [1]. Холодильна машина служить для охолодження антифризу, в якості якого обраний 20% водний розчин пропіленгліколю, який, у свою чергу, охолоджує воду в проміжних пластинчастих теплообмінниках. Для уникнення неприпустимого зниження температури води в теплообміннику та її замерзання частина антифризу байпасується повз теплообмінник, тим самим зменшуючи кількість теплоти, що відводиться від води. Крижана вода циркулює через теплообмінник та другу шнекову ванну. Частина крижаної води оновлюється. Під час роботи на режимі повного оновлення води збільшуються втрати холоду з водою, що зливається в каналізацію. Для забезпечення недостатньої холодопродуктивності пропонується використовувати частину холоду від холодильної машини системи кондиціонування. При зниженні температури повітря на виході з охолоджувача повітря нижче заданої, частина пропіленгліколю замість байпаса подається в систему водоохолодження. Важливим моментом тут є забезпечення необхідних витрат через холодильні машини та забезпечення постійних витрат через баки пропіленгліколю. Також бажано розглянути і нестационарне теплове завдання: час виходу на робочий режим контуру пропіленгліколю та періодичність увімкнення/вимкнення холодильних машин.

**Основні матеріали досліджень.** Для вирішення поставленого завдання було розроблено математичну модель з урахуванням гідроопору всіх елементів монтажної гідравлічної схеми залежно від витрат.

Вихідні дані: гідравлічна схема контуру пропіленгліколю; гідравлічна характеристика насосів; початкова температура системи; параметри регулювання холодильної машини; тиск пропіленгліколю в витратному баці; холодопродуктивність (охолодження води); холодопродуктивність (кондиціонування); необхідна холодопродуктивність охолодження води; необхідна холодопродуктивність кондиціонування; потужність одного насосу.

Розрахунковий аналіз будь-якої реальної фізичної системи можна проводити лише за наявності адекватної математичної моделі цієї системи. Прямий перехід від реальної фізичної системи до її математичної моделі – досить складний процес. Для спрощення цього переходу між фізичною системою та математичною моделлю вводиться змістовна модель системи. Призначення змістовної моделі – дати спрощене, схематичне опис реальної системи, звільнене від несуттєвих у цій задачі чинників і допомогти сформулювати властивості реальної системи мовою цікавої для нас науки. Прийняті припущення математичної моделі: теплопритоки в систему та підключення теплового навантаження моделюються підведенням теплоти до контрольного об'єму, масообміну системи з довкіллям не відбувається, вважаємо  $\mu$  (динамічна в'язкість) та  $C_p$  (теплоємність), не залежать від температури.

При побудові математичної моделі використовувався метод Ньютона [2]. Цей метод є найпоширенішим методом розв'язання системи рівнянь  $F_i(X_i) = 0$ . Він реалізується наступним алгоритмом.

1. Задаємо абсолютну або відносну похибку  $\varepsilon = E$ , число рівнянь  $N$ , максимальне число ітерацій  $M$  та вектор початкових приближень  $X_{i0}(x_{10}, x_{20}, \dots, x_{N0})$ .

2. Використовуючи розклад  $F_i(X_i)$  в ряд Тейлора, формуємо матрицю Якобі  $[dF_i / dX_i]$ , необхідну для розрахунку приростів  $F_i(X_i)$  при малій зміні змінних. Матриця Якобі в розгорнутому вигляді записується наступним чином:

$$\begin{bmatrix} \partial F_1 / \partial x_1 & \partial F_1 / \partial x_2 & \dots & \partial F_1 / \partial x_N \\ \partial F_2 / \partial x_1 & \partial F_2 / \partial x_2 & \dots & \partial F_2 / \partial x_N \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \partial F_N / \partial x_1 & \partial F_N / \partial x_2 & \dots & \partial F_N / \partial x_N \end{bmatrix}. \quad (1)$$

3. Оскільки аналітичне диференціювання  $F_i(X_i)$  в загальному випадку небажане, замінюємо часткові похідні в матриці Якобі їх наближеними звичайно-різносними значеннями:

$$\frac{\partial F_i}{\partial X_i} \cong \frac{F_i(X_i+H) - F_i(X_i)}{H_i} \quad (2)$$

де  $H_i$  – малий приріст  $X_i$ ; наприклад  $H_i = \varepsilon |X_i|$ .

4. Рішення системи рівнянь можна представити в вигляді:

$$X_{i(n+1)} = X_{i(n)} - I_{(n)}^{-1} F_i(X_{i(n)}), \quad (3)$$

де  $I_{(n)}^{-1}$  – зворотна матриця Якобі.  $\Delta X_i = I_{(n)}^{-1} (-F_i(X_{i(n)}))$ . Тоді  $X_{i(n+1)} = X_{i(n)} - \Delta X_i$ .

Для всіх  $\Delta X_i$  перевіряємо одну із умов  $|\Delta X_i| > \varepsilon$ ,  $|\Delta X_i / X_i| > \varepsilon$ . Якщо воно виконується, то переходимо до п.2, тобто виконуємо нову ітерацію. Інакше вважаємо вектор  $X_{i(n+1)}$  знайденим рішенням. Для розв'язання системи диференціальних рівнянь теплового завдання використовується метод Гіра для жорстких систем рівнянь. Введення вихідних даних та початкових наближень здійснюється з файлу. Користувач може встановити необхідні значення без подальшої компіляції програмного коду.

Програма виводить наступні результати кожного ідеалізованого елемента із заданим кроком у часі: температура, тиск, масові витрати робочих тіл через магістралі системи.

Аналізуючи отримані графіки можна простежити процес охолодження пропіленгліколю та стабілізації температури.

**Висновок.** Таким чином, побудована математична модель контуру пропіленгліколю дозволяє оцінити роботу системи, перевірити її поведінку в різних умовах, у тому числі на нерозрахункових режимах та в нестандартних умовах. Це дозволяє легко зробити висновки про роботу тих чи інших елементів системи, спробувати використовувати різні варіанти управління та регулювання, не проводячи дорогих та тривалих експериментів на натурному об'єкті чи його функціональному аналогу.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Технологія забою і переробки м'яса птиці. Режим доступу: [https://vuzlit.com/409325/tehnologiya\\_zaboyu\\_pererobki\\_myasa\\_ptitsi](https://vuzlit.com/409325/tehnologiya_zaboyu_pererobki_myasa_ptitsi). (дата звернення 27.11.2022). Назва з екрана.

2. Хімч О. М., Сидорук В. А., Нестеренко А. Н. Гібридний алгоритм методу Ньютона для розв'язування систем нелінійних рівнянь з блочними матрицями Якобі. Наукова електронна бібліотека періодичних видань НАН України. Режим доступу: <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/180466>. (дата звернення 27.11.2022). Назва з екрана.