

Двохзахідний шнек має низку переваг перед однозахідним:

- наявність додаткового гребеня практично вдвічі збільшує осьове зусилля, що призводить до значного підвищення тиску;
- двохзахідність знижує швидкість руху матеріалу, але компенсує це додатковим природним тиску;
- контактна площа гвинтових каналів збільшується в зв'язку з наявністю додаткових гребенів, що є наслідком підвищення заповнюваності каналів шнеку.

Список використаних джерел

1. Гулий І.С., Пушанко М.М., Орлов Л.О., Мирончук В.Г. Обладнання підприємств переробної і харчової промисловості: навч. посібн. Вінниця: Нова книга. 2001. 576 с.
2. Ялпачик В.Ф., Буденко С.Ф., Ялпачик Ф.Ю., Гвоздев О.В., Циб В.Г. Бойко В.С., Самойчук К.О., Олексієнко В.О., Клевцова Т.О., Паланичка Н.О. Розрахунки обладнання харчових виробництв: навч. посібн. Мелітополь: ТДАУ, 2014. 188 с.

УДК: 664

АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ РОБОТИ ТЕПЛОВОГО НАСОСА В СКЛАДІ ПАСТЕРИЗАЦІЙНОЇ УСТАНОВКИ

Колінько В.А., студент;

Ляшенко Т.Г., к.т.н., доцент

Полтавська державна аграрна академія

У серійних пастеризаційних установках тепло охолоджуваного молока безповоротно втрачається з потоком води або повітря, які використовуються в якості охолоджуючих середовищ, що знижує ККД установок і не сприяє ресурсозбереженню [2]. Одним із шляхів вдосконалення процесу роботи установки для пастеризації молока є використання на цій стадії охолодження молока теплового насоса для попереднього нагріву холодного молока, що пастеризується, на шляху до пастеризації в ГДН (рис. 1).

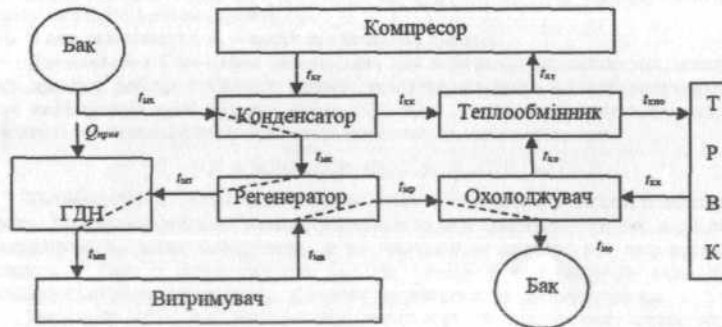


Рис. 1. Схема технологічної взаємодії теплових апаратів пастеризаційної установки з використанням теплового насоса

За цією схемою охолоджувач виконує роль і випарника, будучи джерелом тепла. У нього через терморегулюючий вентиль (ТРВК) дроселюється хладон температурою $t_{хх}$, який, відбираючи тепло молока, закипає при низькому тиску і мінусовій температурі. Випаровуючись і охолоджуючи молоко, пари хладону відсмоктуються компресором теплового насоса в теплообмінник при температурі $t_{х0}$, підвищуючи температуру рідкого хладону, що проходить по його змійовику, на вході в компресор до $t_{хк}$. Компресор в круговому циклі стискає їх до тиску 1500...1800 кПа і з температурою $t_{хк} = 80...90^{\circ}\text{C}$ подає пари в конденсатор, через змійовик якого протиточно надходить з бака холодне молоко (приймає тепла) на шляху до пастеризації. Молоко нагрівається до температури $t_{хп}$, а пари хладону охолоджуються до температури $t_{хк}$, забезпечуючи тим самим «перекачування» тепла молока з охолоджувача холодному молоку, що подається на пастеризацію. Далі в теплообміннику змійовика конденсат хладону омивається холодними парами хладону з охолоджувача і, додатково охолоджуючись до температури $t_{хп}$, проходить через ТРВК, де рідкий хладон напівскипає. Тиск його після дроселювання знижується, він подається в охолоджувач, і процеси роботи теплового насоса повторюються.

Кількість тепла, відібране від молока в охолоджувачі, через його стіни, що передається парам хладону визначається за формулою [1]:

$$Q_{ох} = G_x c_x (t_{х0} - t_{хк}), \quad (1)$$

де G_x – маса холодоагенту, що подається в охолоджувач, кг/с;

c_x – теплоємність хладону, Дж/кг·К;

$t_{х0}, t_{хк}$ – температура хладону на виході та вході в охолоджувач, $^{\circ}\text{C}$.

$$K_k = \frac{c_x(t_{хк} - t_{х0})}{c_x(t_{хк} - t_{х0})}. \quad (2)$$

Щоб молоко встигло охолонути до заданої температури, воно повинно перебувати в охолоджувачі певний час T_o . За цей час воно віддає кількість тепла, яке визначається за формулою:

$$Q_{ох} = k \cdot F_{ох} \cdot \Delta t_{сх}, \quad (3)$$

де $F_{ох}$ – загальна теплообмінна поверхня охолоджувача, м^2 ;

$\Delta t_{сх}$ – середній градієнт температур між теплообмінними середовищами в охолоджувачі.

Цю ж кількість тепла можна уявити, як необхідну для охолодження молока, що знаходиться одночасно в охолоджувачі:

$$Q = f_{пл} \cdot l \left(\frac{z_{пл}}{2} \right) \cdot \rho \cdot c (t_{хк} - t_{х0}), \quad (4)$$

Прирівнявши формули (3) і (4), визначимо тривалість перебування молока в охолоджувачі:

$$T_o = \frac{f_{пл} \cdot l \cdot z_{пл} \cdot \rho \cdot c (t_{хк} - t_{х0})}{2k \cdot F_{ох} \cdot \Delta t_{сх}}. \quad (5)$$

Тепловий насос в досліджуваній пастеризаційній установці сприяє тепловий потік молока з низькою температурою в охолоджувачі, знижуючи його температуру до температури зберігання після пастеризації, а також забезпечує необхідну для свого приводу енергію і використовує обидва потоки енергії в створенні підвищеного теплового потоку (в порівнянні з охолоджувачем) для підігріву молока на шляху до пастеризації. Тут джерело тепла має порівняно постійну температуру.

На рисунку 2 представлена імітаційна блок-схема процесу роботи теплового насоса в установці для пастеризації молока.

Ця блок-схема описує тепловий апарат останнього ступеня охолодження молока після пастеризації у вигляді системи, що здійснює перетворення вектора вхідних обумовлюючих впливів x_1 – охолоджуваного молока (джерела тепла), x_0 – нагрітого хладону (приймача тепла) і керуючого впливу U (потужності компресора N) у вектор вихідних змінних параметрів y_1 – охолодженого до температури зберігання молока і y_0 – нагрітих парів хладону на виході з охолоджувача у вигляді оператора $W[X, U]$.

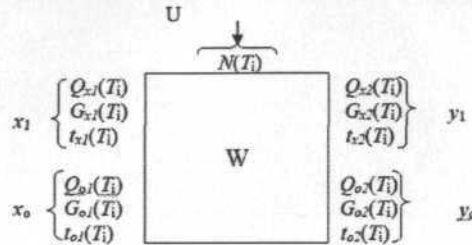


Рис. 2. Блок-схема імітаційної моделі охолодження молока і нагріву холодоагенту в охолоджувачі пастеризатора тепловим насосом

У ролі вхідних і вихідних впливів використані рівняння теплового балансу в теплових апаратах установки.

Вхідний x_1 і вихідний y_1 вектори представляють в принципі поновлюване джерело енергії:

$$x_1 = \{Q_{x1}(T_i); G_{x1}(T_i); t_{x1}(T_i)\}, \quad (6)$$

$$y_1 = \{Q_{x2}(T_i); G_{x2}(T_i); t_{x2}(T_i)\}, \quad (7)$$

де $Q_{x1}(T_i)$ – кількість тепла, яке відбирається від молока в охолоджувачі за одиницю часу, що дорівнює холодопродуктивності теплового насоса, кВт; $G_{x1}(T_i)$ – витрата охолоджуваного молока, м³/год; $t_{x1}(T_i)$ – температура молока на вході в охолоджувач, °C; $Q_{x2}(T_i)$ – кількість тепла в нагрітому хладоні на виході з охолоджувача, кВт; $G_{x2}(T_i)$ – витрата хладону на виході охолоджувача, м³/год; $t_{x2}(T_i)$ – температура хладону на виході з охолоджувача, °C.

В цих залежностях T_i – поточна тривалість процесу.

Представлена блок-схема використана для отримання математичних залежностей опису процесу роботи теплового насоса: визначення хладо- і теплопродуктивності, а також коефіцієнтів перетворення тепла і холоду. На її основі визначено залежність потужності компресора теплового насоса від основних його параметрів:

$$N = W_k[Q_{x1}(T_i); Q_{o2}(T_i); G_{x1}(T_i); G_{o2}(T_i)]. \quad (8)$$

Конденсатор теплового насоса також може виконуватися у вигляді пластинчастого апарату. На гарячій стороні кожної пластини такого апарату – гарячі пари хладону температурою t_{x1} після компресора, а на холодній – молоко, що нагрівається, яке надходить з бака з температурою t_{mx} . На виході з конденсатора пари хладону охолоджуються до температури t_{mx} , а молоко нагрівається до температури t_{mx} .

Тепловий потік, що відбирається холодоагентом від молока, визначається за формулою [1]:

$$Q = G_m C_m (t_{mx} - t_{mx}), \quad (9)$$

де t_{mx} , t_{mx} – початкова та кінцева температури холодоагенту, °C.

Таку ж кількість тепла набувають пари хладона, поступаючи на вхід теплообмінника.

$$Q = G_m C_m (t_{x1} - t_{x1}), \quad (10)$$

де t_{x1} , t_{x1} – початкова та кінцева температури молока, °C.

Процес нагрівання в пластинчастих апаратах йде безперервно. Але в залежності від температурного режиму підігрівуючої рідини необхідно більше, ніж підігріваної.

Визначимо коефіцієнт кратності витрати холодоагенту [1]:

$$K_k = \frac{G_m (t_{x1} - t_{mx})}{C_m (t_{x1} - t_{x1})}. \quad (11)$$

Потік тепла, що проходить через стінки конденсатора:

$$Q = k \cdot F \cdot \Delta t_{cp} \cdot \tau. \quad (12)$$

Тоді площа поверхні конденсатора:

$$F = \frac{G_m C_m (t_{x1} - t_{mx})}{k \Delta t_{cp}}, \text{ м}^2. \quad (13)$$

Число робочих пластин в секції:

$$z_k = \frac{F_k}{f_{pl}}. \quad (14)$$

Щоб молоко встигло нагрітися до заданої температури, воно повинно знаходитися в конденсаторі певний час T_k .

Аналогічно визначається час проходження молока в охолоджувачі:

$$T_o = \frac{f_{pl} \cdot z_k \cdot \rho_m \cdot C_m (t_{mx} - t_{mx})}{2k \cdot F \cdot \Delta t_{cp}}. \quad (15)$$

Ймовірно потужність, що витрачається в охолоджувачі, дорівнює сумі потужностей на переміщення охолоджуваного молока N_1 та нагріваних парів холодоагенту N_2 :

$$N = N_1 + N_2. \quad (16)$$

Основні показники ефективності теплового насоса – коефіцієнт перетворення тепла k_m та холоду k_x , пов'язаних між собою залежністю:

$$k_m = k_x + 1. \quad (17)$$

Визначаються ці коефіцієнти по зворотному термодинамічному циклу Карно:

$$k_m = \frac{t_{x1}}{t_{x1} - t_{mx}}, \quad (18)$$

$$k_x = \frac{t_{x1}}{t_{x1} - t_{mx}}. \quad (19)$$

Ступінь відмінності цих коефіцієнтів від експериментальних даних оцінює термодинамічне удосконалення теплового насоса.

Список використаних джерел

1. Арсеньєв В.М., Мелічук С.С. Теплові насоси: основи теорії і розрахунку: навч. посібн. Сумський державний університет, 2018. 364 с.
2. Єресько Г.О. Шинкарик М.М., Ворошук В.Я. Технологічне обладнання молочних виробництв: навч. посібн. Київ: Фірма «ІНКОС», ЦУЛ, 2007. 344 с.

