

УДК 621.317

А.М. Клименко, А.І. Вахновський, Н.Ю. Любченко

Національний технічний університет "ХПІ", Харків

УПРАВЛІННЯ УСТАНОВКОЮ ДЛЯ ПАСТЕРИЗАЦІЇ МОЛОКА

В статті пропонується для забезпечення високої надійності функціонування установки пастеризації як виробничої системи і зниження впливу «людського чинника» в основу апаратно-програмної реалізації системи управління технологічними процесами пастеризації покласти концепцію мережевої дворівневої організації. Приводиться математична модель теплообмінного апарата пастеризатора та результати імітаційного моделювання процесу управління установкою для пастеризації молока. Результати моделювання були використані при розробці алгоритму управління температурно-тисковими режимами у пастеризаторі.

Ключові слова: система управління, контроль, сповіщення, температура, тиск.

Вступ

Постановка проблеми. Сучасне молочне виробництво – це масштабне виробництво, яке має у своєму складі в ряді випадків кілька десятків пастеризаторів. При традиційних системах управління з децентралізованим контролем для обслуговування такої кількості установок потрібен великий штат оперативного персоналу, тобто існує проблема автоматизації процесів пастеризації. При управлінні установкою для пастеризації потрібно підтримувати задану точність температури в секції пастеризації, але контролювати тільки температуру виявляється недостатньо, бо підігрів йде, як правило, парою, а її тиск змінюється. Крім того, інерційність процесу різна для різних продуктів (вершки, молоко...), а значить після налаштування системи управління на один продукт буде потреба в переналаштуванні її потім на інший [1].

У цих умовах виникає необхідність у побудові системи управління установкою для пастеризації молока, яка б забезпечила виготовлення кінцевого продукту із заданими якісними показниками при різних умовах реальної роботи. Виходячи з цього актуальність питань, яким присвячена дана стаття, має місце. Тому необхідно автоматизувати процес пастеризації, з урахуванням всіх можливих режимів та умов його роботи. Це можливо шляхом моделювання його функціонування в імовірних ситуаціях з урахуванням викладених особливостей.

Аналіз публікацій. Проведений аналіз літератури показав [2 – 7], що існує багато варіантів моделей термодинамічних систем та систем управління складними динамічними об'єктами, однак вони не розглядають процес пастеризації молока з урахуванням роботи сучасних пастеризаторів, що використовують пластинчасті теплообмінники.

Таким чином, актуальності набуває питання, пов'язане з дослідженням можливих шляхів побудови системи управління установкою для пастеризації молока.

Мета статті. Дана стаття присвячена дослідженню моделі та розробці системи управління установкою пастеризації молока.

Основна частина

Створення високотехнологічного пастеризатора висуває підвищені вимоги до рівня надійності їх функціонування. При закладеній у новий пастеризатор продуктивності у випадку, якщо буде допущена помилка в технологічному процесі, то економічний збиток складе велику суму.

Сучасний молочне виробництво – це масштабне виробництво, яке має у своєму складі в ряді випадків більш десятків пастеризаторів. При традиційних системах управління з децентралізованим контролем для обслуговування такої кількості установок потрібен великий штат оперативного персоналу. За існуючими правилами оператор повинен здійснювати регулярний контроль роботи пастеризаторів і через кожні п'ятнадцять хвилин реєструвати в журналі спостережень дані про температуру і проходження технологічних процесів.

Здійснювати такий контроль у процесі пастеризації сучасних масштабів, силами оперативного персоналу, особливо в нічний час, не тільки досить трудомістка операція, але і найбільш слабка по надійності операція циклу, оскільки результат контролю повністю залежить від сумлінності, об'єктивності та фізичного стану операторів. Істотно зростає ймовірність операторських помилок, таких як неправильна реалізація вірних намірів і правильного виконання дій на основі невірних передумов. У разі виникнення нештатної ситуації оператор може з організаційних причин затратити чимало часу на пошук проблеми функціонування та виду несправності, що, як правило, призводить до зниження якості молока і підсумкової продукції.

Пастеризатор є складною динамічною системою з розподіленими параметрами. Тому динаміка стану температури, як об'єкта регулювання може в першому наближенні розглядатися як процес послідовного

перетворення змін температури в секції пастеризації вважаючи при цьому, що значення параметра в одній точці (на виході з секції пастеризації), достатньо характеризує стан процесу пастеризації.

Виходячи з цього, динамічні властивості температурного стану пастеризатора, що відображають залежність керованого параметра від факторів, що обумовлюють його зміни, в загальному вигляді можуть бути визначені рівняннями теплового балансу [7]:

$$C_1 \frac{\partial \theta_{cf}(t)}{\partial t} = \sum_1^{i-n} q_i(t), \quad (1)$$

де $\theta_{cf}(t)$ – температура молока в зоні пастеризації, град °C; $q_i(t)$ – i -й вид потоку тепла, що впливає на зміну стану пастеризації, ккал / с; C_1 – наведена теплоємність, ккал / град.

Деталізацію потоків тепла можна представити в наступному вигляді:

$$C_1 \frac{\partial \theta_{cf}(t)}{\partial t} = Q_{\delta i}(t) - Q_{\delta a}^*(t), \quad (2)$$

де $Q_{\delta i}(t)$ – потік тепла, що формується теплоносієм, ккал / с; $Q_{\delta a}^*(t)$ – потік тепловтрат через пластину пастеризатора, в секції пастеризації, ккал / с;

Оскільки потоки тепла через поверхню пастеризатора в порівнянні з іншими потоками тепла дуже малі, то вони не роблять істотного впливу на перехідні процеси зміни температури пастеризації в секції пастеризації. Тому при побудові моделі стану температури пастеризатора, як об'єкта системи управління ними можна знехтувати. В умовах нормального функціонування пастеризатора мають місце малі відхилення від заданого рівня значень температури в зоні секції пастеризації, тому обмежимося моделлю об'єкта в першому наближенні, визначивши лінійну інтерпретацію рівняння (1) [6].

Зміни температури повітря практично не впливають на температуру теплообмінної поверхні в зоні секції пастеризації і можна вважати, що потік тепла $Q_{\delta i}(t)$ залежить лише від керуючого впливу U_1 і пропорційний йому, а саме

$$\Delta Q_{\delta i}(t) = \Delta Q_{\delta i}(U_1) = \beta_1 U_1, \quad (3)$$

де β_1 – коефіцієнт пропорційності.

Внесений у зону секції пастеризації потік тепла пропорційний теплоємності потоку, а саме

$$Q_1 = I_1 Q_{cf},$$

де I_1 – теплоємність теплоносія, ккал / кг.

У загальному вигляді теплоємність теплоносія є нелінійною, але головною функцією його температури і вмісту води ϵ , $I = f(\theta, d)$. Виходячи з цього можна записати

$$Q_1 = L \cdot f(\theta_n, d_n) = L \cdot f(\theta_{cf}, d_{cf}).$$

Визначаючи ці функції в лінійному наближенні розкладом їх в ряд Тейлора щодо сталих значень

змінних і обмежуючись при цьому першим членом розкладання, отримаємо:

$$Q_1 = [Q_1]_0 + a_{11} \theta_n + a_{12} \Delta d_n; \quad (3)$$

$$Q_{cf} = [Q_{cf}]_0 + a_{21} \theta_{cf} + a_{22} \Delta d_{cf},$$

або у відхиленнях від усталеного режиму:

$$\Delta Q_1 = Q_1(t) - [Q_1]_0 = a_{11} \theta_n + a_{12} \Delta d_n$$

$$\Delta Q_{cf} = Q_{cf}(t) - [Q_{cf}]_0 = a_{21} \theta_{cf} + a_{22} \Delta d_{cf},$$

де $a_{11} = L \left(\frac{\partial I_1}{\partial \theta_n} \right)_0$, [ккал/град*с],

$$a_{12} = L \left(\frac{\partial I_1}{\partial d_n} \right)_0$$
 [ккал/град*с],

$$a_{21} = L \left(\frac{\partial I_{cf}}{\partial \theta_{cf}} \right)_0$$
 [ккал/град*с],

$$a_{22} = L \left(\frac{\partial I_{cf}}{\partial d_{cf}} \right)_0$$
 [ккал/град*с];

$[Q_1]_0$ і $[Q_{cf}]_0$ – значення теплових потоків в усталеному режимі.

Тепло, яке відводиться від теплоносія у секції пастеризації, іде на нагрівання молока, що пропускається через секцію пастеризації. Потік тепла що відводиться, пропорційний різниці температур молока і середнього значення температури теплоносія на вході

$$\theta_{\delta a}^{\hat{a}} = \frac{\theta_{\delta a \epsilon \delta}^{\hat{a}} + \theta_{\delta a \delta}^{\hat{a}}}{2}$$

де $\theta_{\delta a \delta}^{\hat{a}}$, $\theta_{\delta a \epsilon \delta}^{\hat{a}}$ – відповідно, температура молока на вході і виході з секції пастеризації.

З огляду на це кількість тепла, що передається, буде

$$Q_{\delta i \delta \epsilon}(t) = \alpha_1 F \left[\theta_{cf}(t) - \theta_{\delta a}^{\hat{a}}(t) \right]$$

де F – площа теплообмінної поверхні секції пастеризації, м²; α_1 – коефіцієнт теплопередачі, ккал / град * м²*с.

Параметри циркуляції в зоні нагріву можна вважати постійними, і отже, $\alpha_1 = \text{const}$, а потік $Q_{\delta i \delta \epsilon}(t)$ тільки функцією від $Q_{cf}(t)$ і $\theta_{\delta a}^{\hat{a}}(t)$, тобто

$$Q_{\delta i \delta \epsilon}(t) = Q(\theta_{cf}, \theta_{\delta a}^{\hat{a}}).$$

Переходячи до відхилень, це співвідношення можна записати у вигляді

$$Q_{\delta i \delta \epsilon} = a_{31} \Delta \theta_{cf} - a_{32} \Delta \theta_{\delta a}^{\hat{a}}, \quad (4)$$

де $a_{31} = \left(\frac{\partial Q_{\delta i \delta \epsilon}}{\partial Q_{cf}} \right)_0$ [ккал/град*с],

$$a_{32} = \left(\frac{\partial Q_{\delta i \delta \epsilon}}{\partial \theta_{\delta a}^{\hat{a}}} \right)_0$$
 [ккал/град*с].

З урахуванням (1) – (4) можемо записати

$$C_1 \frac{\partial \theta_{ci}^{\hat{a}}(t)}{\partial t} = \beta \Delta U_1 + a_{11} \theta_n + a_{12} \Delta d_n - a_{21} \theta_{ci} - \\ - \dot{a}_{22} \Delta d_{ci} - \dot{a}_{31} \theta_{ci} + \dot{a}_{32} \Delta \theta_{nd}^{\hat{a}}.$$

Зміни температури молока $\Delta \theta_{nd}^{\hat{a}}$ в секції пастеризації визначаються рівнянням теплового балансу

$$C_2 \frac{\partial \theta_{nd}^{\hat{a}}(t)}{\partial t} = \Delta Q_{i^{\hat{a}}} - \Delta Q_{a^{\hat{a}}}(t),$$

де C_2 – приведена теплоємність, ккал / кг *град; $\Delta Q_{i^{\hat{a}}}(t)$ – потік, що підводиться до секції пастеризації; $\Delta Q_{a^{\hat{a}}}(t)$ – потік, що відводиться від секції пастеризації.

Зміна потоку тепла, що відводиться, буде

$$Q_{a^{\hat{a}}}(t) = c_a G_a \Delta \theta^{\hat{a}}(t), \quad (5)$$

де G_a – витрата води через охолоджувач, кг / с; c_a – питома теплоємність води, ккал / кг *град.

Зміна температури води в охолоджувачі може розглядатися як функція двох змінних $\theta_{ao}^{\hat{a}}$ і $\theta_{nd}^{\hat{a}}$. З урахуванням цього (5) у відхиленнях запишеться

$$Q_{a^{\hat{a}}}(t) = a_{41} \Delta \theta_{nd}^{\hat{a}}(t) + \dot{a}_{42} \Delta G_a(t) + a_{43} \Delta \theta_{ao}^{\hat{a}}(t),$$

де a_{41} , a_{42} , a_{43} – відповідні часткові похідні функції в усталеному режимі.

Зміни витрати $\Delta G_a(t)$ однозначно залежать від керуючого впливу U_2 , що формується керуючою системою у вигляді відкриття або закриття клапана охолоджуючої води, і можна вважати

$$\Delta G_a(t) = \Delta G_a(U_2(t)) = \beta_2 \Delta U_2,$$

де β_2 – коефіцієнт пропорційності.

Наведені вище формули складають математичний опис процесу функціонування теплообмінника установки для пастеризації молока, та відображують якісно в загальному вигляді процеси що відбуваються в ній. Аналітично визначити чисельні значення коефіцієнтів побудованої моделі вкрай складно, у тому числі й тому, що їх значення залежать не лише від фізичних характеристик теплообмінника, але і від характеристик молока. У відповідність з цим кількісні характеристики моделі повинні бути різні для кожного дня. Тому для отримання чисельної моделі пастеризатора необхідні експериментальні дослідження. Отримана загальна математична модель дозволяє визначити стратегію експериментального знаходжен-

ня параметрів математичних моделей, що відображають кількісні характеристики динамік стану гідравлічного середовища за конкретним контрольованому зовнішньої дії щодо вихідних параметрів.

Для забезпечення високої надійності функціонування пастеризатора як виробничої системи і зниження впливу «людського чинника» в основу апаратно-програмна реалізація системи управління технологічними процесами пастеризації була покладена концепція мережевої дворівневої організації, що складається з центрального комп'ютера (ЦКС) і мікропроцесорних блоків локального управління (БЛУ) (рис. 1).

Як ЦКС закладено використання персонального комп'ютера з операційною системою Windows.

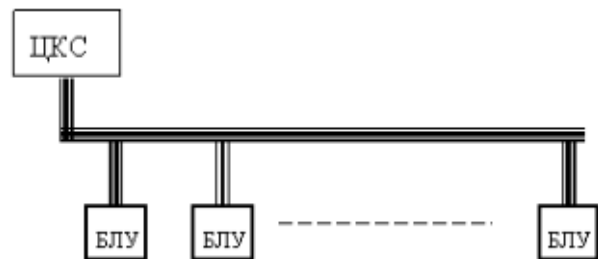


Рис. 1. Дворівнева система керування

Для з'ясування можливості використання на нових об'єктах раніше застосовувалися регуляторів були проведені засобами комп'ютерного експерименту і прямим експериментом дослідження процесу стабілізації температури двопозиційні регуляторами безперервної дії. Як інструмент комп'ютерного моделювання використовувався програмний пакет Matlab Найкращі результати, з точки зору точності підтримки заданого значення температури, були отримані на моделі з наступними параметрами блоку управління: поріг включення при відхиленні температури від заданого значення 0.1 градусів Цельсія, поріг відключення при відхиленні 0 градусів Цельсія, коефіцієнт корекції статичної помилки 0,997, величина керуючого впливу при використанні реле, при вимкненому стані 0. На рис. 2 наведені отримані в процесі моделювання осцилограми процесу зміни температури в пастеризаторі. Задане значення температури 84,3 градусів Цельсія.

Результати моделювання можуть бути використані при розробці алгоритму управління температурно-тискових режимів у нових пастеризаторах.

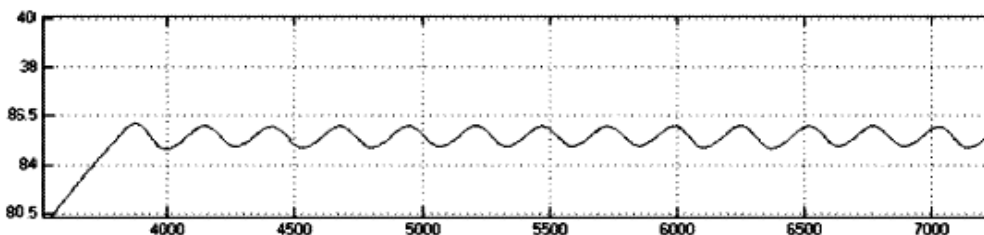


Рис. 2. Осцилограми процесу зміни температури в пастеризаторі

В якості алгоритму роботи запропонованої системи управління був розроблений алгоритм управління, представлений на рис. 3. Наведений алгоритм дозволяє підвищити ефективність роботи пастеризатора.

Висновки

Запропоноване рішення дозволяє: з комп'ютера роздавати завдання на блоки керування по температурі, потоку, та насосів; переглядати графіки зміни температури і тиску за годину, добу, весь період пастеризації; створювати і виводити на друк зведення відхилень від заданого режиму за добу, за весь період пастеризації; контролювати і фіксувати відхилення параметрів від допусків, збої в роботі виконавчих елементів, включення-виключення насосів; видавати голосове повідомлення про відхилення в режимах роботи пастеризатора.

Список літератури

1. Дудников Е.Г. Основы автоматического регулирования тепловых процессов / Е.Г. Дудников. – М.: Госэнергоиздат, 1956. – 110 с.
2. Башарин А.В. Расчет динамики и синтез нелинейных систем управления / А.В. Башарин. М.: Госэнергоиздат, 1960. – 298с.
3. Валге А.М. Обработка экспериментальных данных и моделирование динамических систем при проведении исследований по механизации сельскохозяйственного производства. – СПб.: СЗНИИМЭСХ, 2002. – 176 с.
4. Чичиндаев А.В. Оптимизация компактных пластинчато-ребристых теплообменников / А.В. Чичиндаев. – Н-ск: НГТУ, 2003. – 399 с.
5. Справочник по теплообменникам: В 2-х т. Т.1 / Пер. с англ. под ред. О.Г. Мартыненко и др. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 562 с.
6. Справочник по теплообменникам: В 2-х т. Т.2 /

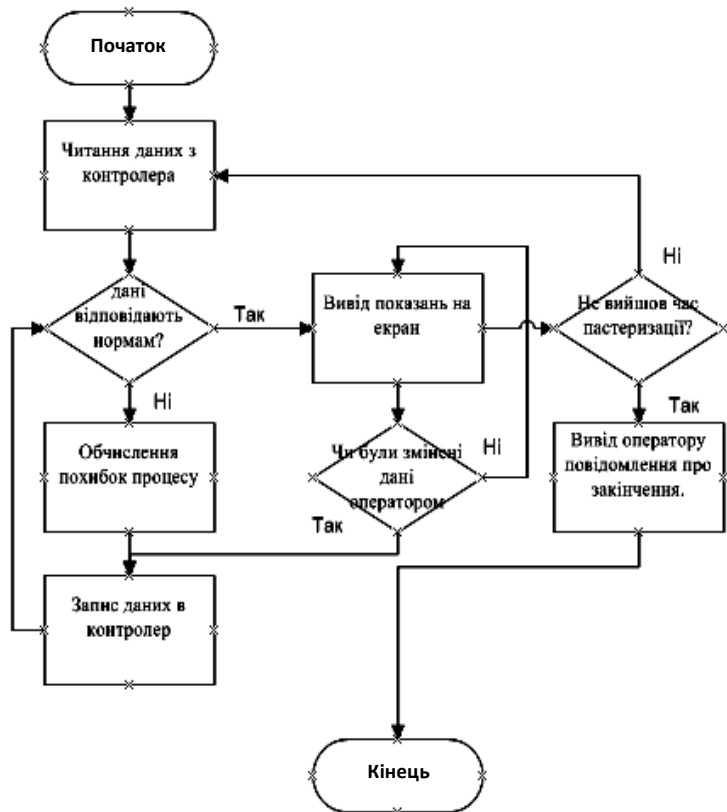


Рис. 3. Алгоритм роботи системи управління установкою для пастеризації молока

Пер. с англ. под ред. О.Г. Мартыненко и др. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 352 с

7. Еременко С.В. Экспериментальное определение параметров математической модели инкубационной камеры как объекта управления по температуре / С.В. Еременко, В.Д. Шеповалов // Сб. докл. межд. НТК «Автоматизация сельскохозяйственного производства». М.: ВИМ, 2004. – С. 417-421.

Надійшла до редколегії 4.05.2011

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.А. Краснобаєв, Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. П. Василенка, Харків.

УПРАВЛЕНИЕ УСТАНОВКОЙ ДЛЯ ПАСТЕРИЗАЦИИ МОЛОКА

А.Н. Клименко, А.И. Вахновский, Н.Ю. Любченко

В статье предлагается для обеспечения высокой надежности функционирования установки пастеризации как производственной системы и снижения влияния «человеческого фактора» в основу аппаратно-программной реализации системы управления технологическими процессами пастеризации положить концепцию сетевой двухуровневой организации. Приводится математическая модель теплообменного аппарата пастеризатора и результаты имитационного моделирования процесса управления установкой для пастеризации молока. Результаты моделирования были использованы при разработке алгоритма управления режимами температуры и давления в пастеризаторе.

Ключевые слова: система управления, контроль, оповещение, температура, давление.

THERE IS A MANAGEMENT A FLUIDIZER PASTEURIZATION OF MILK

A.M. Klimenko, A.I. Vakhnovskiy, N.Yu. Lyubchenko

In the article offered for providing of high reliability of functioning of setting of pasteurization as production system and decline of influence of «human factor» in basis of hardware-programmatic realization of control the system by the technological processes of pasteurization to put conception of network two-tier organization. A mathematical model over of heat-exchange vehicle of pasteurizer and results of imitation design of process of management a fluidizer pasteurization of milk is brought. Were drawn on design results at development of algorithm of management the modes of temperature and pressure in a pasteurizer..

Keywords: control the system, control, notification, temperature, pressure.