

УДК 681.5.015

ДОСЛІДЖЕННЯ ПАСТЕРИЗАТОРА МОЛОКА НА ІМІТАЦІЙНІЙ МОДЕЛІ

В. О. Мірошник кандидат технічних наук, доцент

Т. І. Лендел, кандидат технічних наук, старший викладач

Національний університет біоресурсів і природокористування України

E-mail: taraslendel@rambler.ru

Анотація. На базі математичної моделі пастеризатора молока розроблена імітаційна модель з використанням пакету Simulink MATLAB. За допомогою імітаційної моделі проведені дослідження впливу регулюючих параметрів процесу на температурні характеристики молока в різних секціях пастеризатора в динамічному режимі. У результаті проведення експериментальних і теоретичних досліджень отримана динамічна характеристика секції пастеризації каналом «витрата гарячої води – температура пастеризованого молока». Зазначена модель дозволить розробити алгоритми керування температурним режимом для збільшення продуктивності пастеризатора.

Ключові слова: *імітаційна модель, дослідження, пастеризатор молока, температурний режим*

Актуальність. Пастеризоване питне молоко, призначене для безпосереднього споживання, отримують шляхом обробки сирого молока з наступним негайним охолодженням і розливом у тару.

Найчастіше для пастеризації молока використовують пластинчасті пастеризаційно-охолоджувальні апарати. Існуючі системи автоматизації таких апаратів забезпечують підтримання заданих теплових режимів нагрівання і охолодження молока, його витримку при постійній температурі, а також попереджують вихід із пристрою не догрітого продукту.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Обладнання для нагрівання і охолодження молока потребує великих витрат палива і електроенергії. Для пастеризації молока гарячою водою, промивання пастеризатора потрібно

використовувати потужні електроводонагрівачі або котли, що працюють на дорогому рідкому паливі. Застосоване в молочному тваринництві холодильне обладнання також споживає велику кількість енергії.

Пастеризатор молока – це теплообмінний апарат, який складається із трьох зон теплообміну. Це зона рекуперації молока, де надоєне молоко підігрівається пастеризованим молоком, від температури 15-30 °С до 55-60 °С пастеризованим молоком, а те в свою чергу за рахунок цього охолоджується; зона пастеризації, де молоко пастеризується гарячою водою, підігрівшись до 74-78 °С; зона охолодження, де пастеризоване молоко охолодившись до 40-30 °С охолоджується холодною (льодяною або розсолон) водою до температури 7-8 °С. Розглянуто пастеризатор ОП2Ф-1, як об'єкт керування, де представлені п'ять секцій апарату.

Мета дослідження – на імітаційній моделі провести дослідження впливу регулюючих параметрів процесу на температурні характеристики молока в різних секціях пастеризатора в динамічному режимі для синтезу алгоритмів керування температурою молока на виході пастеризатора і рекуператора.

Матеріал та методи дослідження. Під час розробки математичної моделі пастеризатора враховано дію теплових потоків об'єкту керування [1].

Виходячи зі схеми, складено статичні балансові рівняння теплових потоків для теплоносія і продукту для секцій [1], визначені значення окремих потоків тепла для секції пастеризації, рекуперації і охолодження, кількість тепла в окремих зонах секцій.

Підставляючи рівняння окремих теплових потоків в балансові рівняння і диференціюючи по вихідних температурах теплоносія і продукту кожної секції пастеризатора, отримаємо систему із шести диференціальних рівнянь, які описують динаміку теплообміну пастеризатора:

у секції пастеризації

$$0.5V_{vp}r_vC_v \frac{dt_{vu}}{d\tau} = G_vC_v (t_{vw} - t_{vu}) - (1.05/2)k_pF_p (t_{vw} + t_{vu} - t_{mn} - t_{mp}); \quad (1)$$

$$0.5V_{mp}r_mC_m \frac{dt_{mp}}{d\tau} = G_mC_m (t_{mn} - t_{mp}) + 0.5k_pF_p (t_{vw} + t_{vu} - t_{mn} - t_{mp}); \quad (2)$$

у секції рекуперації

$$0.5V_{n2}r_mC_m \frac{dt_{mg}}{d\tau} = K_v G_mC_m (t_{mp} - t_{mg}) - (1.05/2)k_nF_n (t_{mp} + t_{mg} - t_m - t_{mn}); \quad (3)$$

$$0.5V_{n1}r_mC_m \frac{dt_{mn}}{d\tau} = C_m (K_v G_m t_{mp} + G_{md} t_{md} - G_m t_{mn}) + 0.5k_nF_n (t_{mp} + t_{mg} - t_m - t_{mn}); \quad (4)$$

у секції охолодження

$$0.5V_{mx}r_mC_m \frac{dt_{mx}}{d\tau} = K_v G_mC_m (t_{mg} - t_{mx}) - (1.05/2)k_xF_x (t_{mg} + t_{mx} - t_{xv} - t_{xu}); \quad (5)$$

$$0.5V_{vx}r_vC_v \frac{dt_{xu}}{d\tau} = G_xC_v (t_{xw} - t_{xu}) + 0.5k_xF_x (t_{mg} + t_{mx} - t_{xw} - t_{xu}); \quad (6)$$

де Q_{vw} і Q_{vu} – потоки тепла гарячої води на вході і виході секції пастеризації; Q_{xw} і Q_{xu} – холодної води на вході і виході секції охолодження молока; Q_{v1} , Q_{v2} і Q_{v3} – втрати тепла по секціях; Q_{mp} , Q_{mp1} і Q_{mp2} – потоки тепла пастеризованого молока загального; Q_{md} , Q_m , Q_{mn} , Q_{mg} , Q_{mx} – потоки тепла з молоком на вході збірника, після збірника, підігрітого в рекуператорі, охолодженого в ньому і охолодженого в охолоджувачі молока; Q_{vp} , Q_{mpa} , Q_{mn2} , Q_{mn1} , Q_{mx} , Q_{vx} – тепло гарячої води, пастеризованого молока, гарячого і підігрітого молока в рекуператорі, молока що охолоджується і холодної води в охолоджувачі.

Коефіцієнт теплопередачі секції пастеризації розраховується за відомими формулами:

$$k_p = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_c}{\lambda_c} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad (7)$$

де δ_c і λ_c – товщина стінки, м, і теплопровідність металу стінки пастеризатора, Вт/м град; α_1 і α_2 – коефіцієнти тепловіддачі від гарячої води до стінки і від стінки до молока, Вт/м² град.

Коефіцієнти тепловіддачі визначаємо за допомогою критеріальних рівнянь:

$$\alpha_1 = \frac{Nu_v \lambda_v}{d_e}, \quad Nu_v = 0,1 Re_v^{0,7} Pr_v^{0,43} \left(\frac{Pr_1}{Pr_2} \right)^{0,25}, \quad (8)$$

$$\alpha_2 = \frac{Nu_m \lambda_m}{d_e}, \quad Nu_m = 0,021 Re_m^{0,8} Pr_m^{0,43}, \quad (9)$$

де еквівалентний діаметр визначається з використанням розмірів пастеризатора: b , d , h – ширина, висота секції і відстань між стінками теплообмінника, м.

$$d_e = \frac{2b \cdot h}{d + h} \quad (10)$$

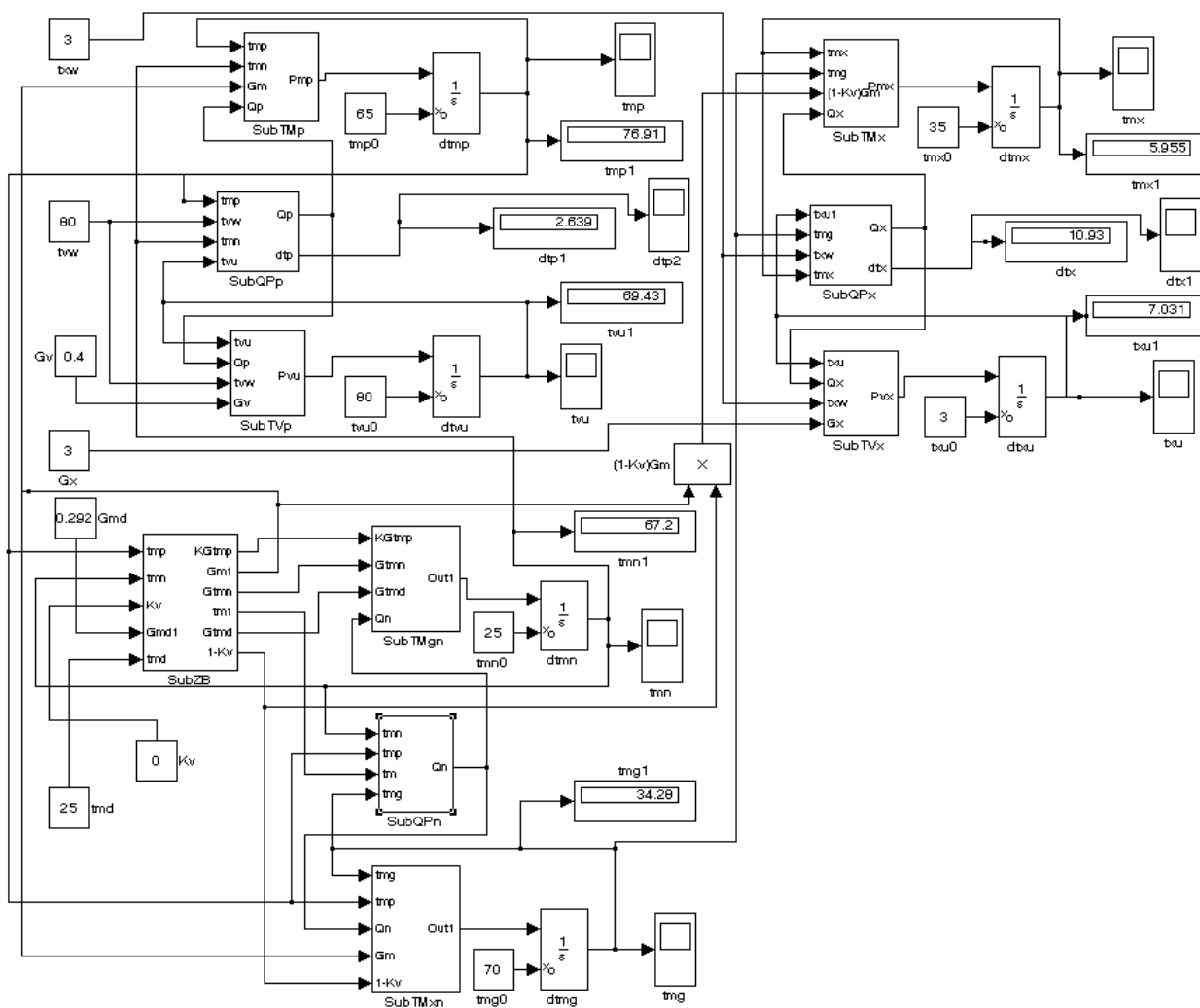
У пастеризаторі він однаковий як для теплоносія, так і для продукту.

Далі розробляємо імітаційну модель пастеризатора. Пакет з розширенням Simulink системи MATLAB є ядром інтерактивного програмного комплексу, який призначений для математичного моделювання лінійних і нелінійних динамічних систем і пристроїв, які представлені своєю функціональною блок-схемою, що називається S-моделлю. Для побудови функціональних блок-схем пристроїв, що моделюємо, Simulink має велику бібліотеку блочних компонентів і зручний редактор блок-схем.

Використовуючи потрібні набори блоків, користувач за допомогою миші може перетягувати потрібні блоки на робочий стіл пакету Simulink і з'єднувати лініями входи і виходи блоків. Таким чином, створюється S-модель системи або пристрою.

Імітаційна модель пастеризатора молока (рис. 1), складається з моделей трьох зон: пастеризатора, рекуператора і охолоджувача. Схема представлена на

рис. 3. Відповідно до схеми моделі розроблені підпрограми SubTMp, SubQPp, SubTVu — для пастеризатора, SubTMgn, SubQPn, SubTmxn, SubZB — для рекуператора, а SubTMx, SubQPx, SubTVx — для охолоджувача пастеризатора. Вони розраховують частини диференціальних рівнянь, передану кількість тепла між носіями, середньо логарифмічний температурний напір на рекуператорі і холодилинику.



**Рис.1. Імітаційна модель пастеризатора молока в середовищі Simulink
MATLAB**

Результати досліджень та їх обговорення. На імітаційній моделі були проведені дослідження об'єкту регулювання за каналами керування температурами охолодження і пастеризації молока. Для пастеризації молока використовувалась гаряча вода з температурою 85 °С, а для охолодження – льодяна вода з температурою 3 °С. Початкове значення температури молока з ферми склало 25 °С. Для підтримання температури пастеризації молока 76 °С витрачалось 0,236 м³/с гарячої води.

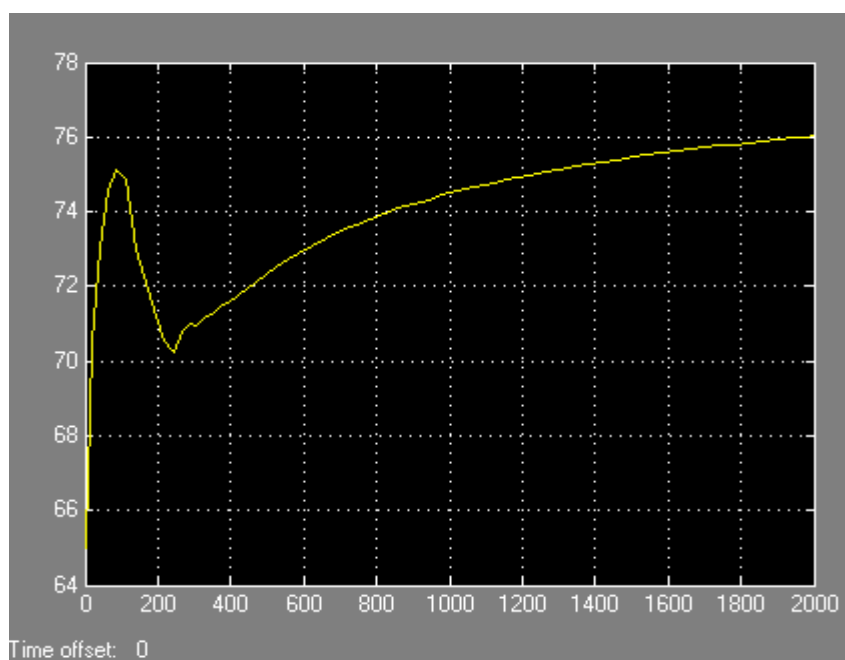


Рис. 2. Перехідна крива температури пастеризованого молока

У результаті проведених досліджень отримано перехідні характеристики температури пастеризованого і охоложеного молока (див рис. 2. і 3).

З графіків видно, що постійна часу за каналом регулювання температури пастеризації не перевищує 150 с, а за каналом регулювання температури охолодження молока 300 с.

Також у цій імітаційній моделі можна слідкувати за зміною температур молока і води після кожного з блоків пастеризатора.

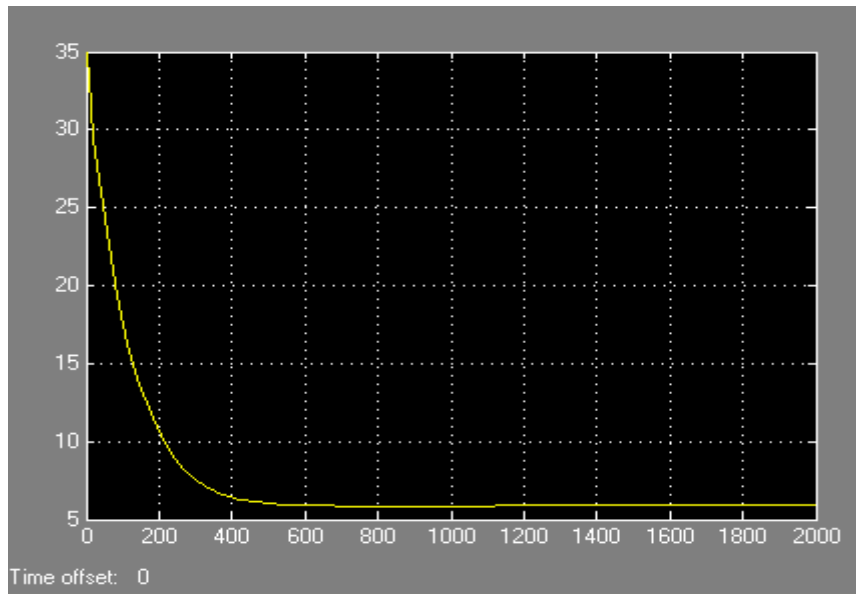


Рис. 3. Перехідна крива температури охолодженого молока

Проведемо дослідження впливу рециркуляції молока на температурні характеристики молока в різних секціях пастеризатора. Для цього змінюємо значення коефіцієнта повернення (рециркуляції) K_v молока нагрітого в секції пастеризації у приймальний бак молока (від 0 до 0.1 частки від всього молока) при незмінних значеннях інших характеристик пастеризатора.

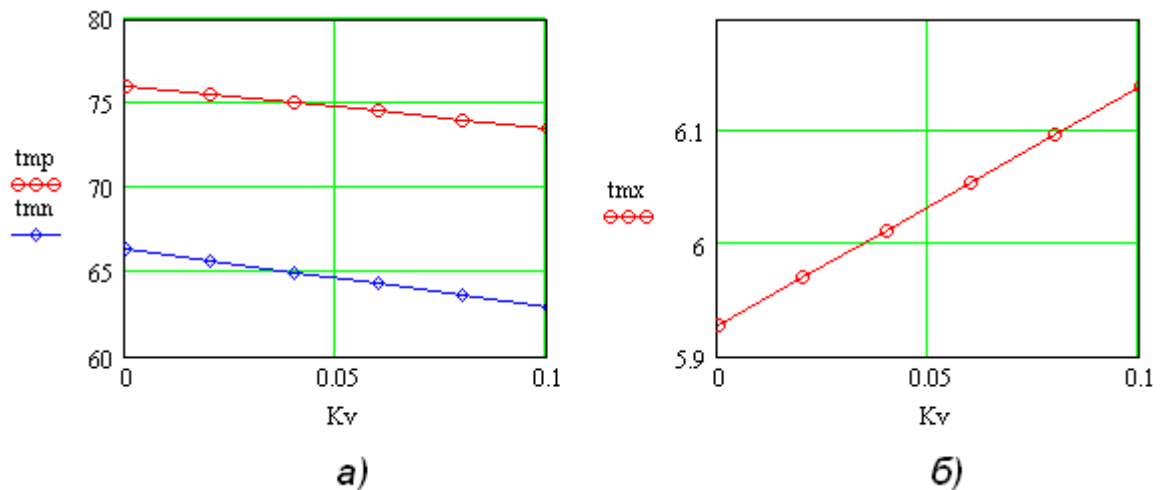


Рис. 4. Вплив рециркуляції на температуру молока а) на виході пастеризатора і рекуператора, б) на виході охолоджувача

Як показали досліджень (рис. 4), збільшення рециркуляції молока приводить до зменшення температури молока на виході пастеризатора t_{mp} і підігрітого на рекуператорі t_{mn} відповідно на 2,5 і 3,4 °С.

Висновки і перспективи. На базі математичної моделі пастеризатора молока розроблена імітаційна модель з використанням пакету Simulink MATLAB. За допомогою імітаційної моделі проведені дослідження впливу регулюючих параметрів процесу на температурні характеристики молока в різних секціях пастеризатора в динамічному режимі, де проаналізовано вплив рециркуляції на температуру молока на виході пастеризатора і рекуператора. Зазначене дозволить розробити алгоритми керування процесом пастеризації молока та забезпечити енергоефективну роботу пастеризатора.

Список використаних джерел

1. Мірошник, В. О. Пастеризатор як об'єкт керування за каналами нагрівання і охолодження молока. / В. О. Мірошник, Т. І. Лендел // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Техніка та енергетика АПК. – 2017. Вип. 261. – С. 79-88.
2. Брусиловский Л.П. Автоматизация технологических процессов в молочной промышленности / Л.П. Брусиловский, А.Я. Вайнберг. – М.: Пищевая промышленность, 1978. – 344 с.
3. Кук Г.А. Пастеризация молока/ Г. А. Кук. – М.: Пищепромиздат, 1951. – 240 с.
4. Єресько Г.О. Технологічне обладнання молочних виробництв / Г.О. Єресько, М.М. Шинкарик, В.Я. Ворошук. – К.: Фірма „ІНКОС”, центр навчальної літератури, 2007. – 344 с.

References

1. Miroshnyk, V. O., Lendiel, T. I. (2017). Pasteryzator yak ob'iekt keruvannia za kanalamy nahrivannia i okholodzhennia moloka [Pasteurizer as an object of control over the channels of heating and cooling milk]. Naukovyi visnyk Natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy. Seriiia: Tekhnika ta enerhetyka APK, 261, 79-88.

2. Brusylovskiy, L. P., Vainberh, A.J. (1978). Avtomatyzatsiya tekhnolohycheskykh protsessov v molochnoi promyshlennosti [Automation of technological processes in the dairy industry]. Moskow: Pyshchevaja promyshlennost, 344.

3. Kuk, H.A. (1951). Pasteryzatsiya moloka [Pasteurization of milk] – Moskow: Pyshchepromyzdat, 240.

4. Ieresko, H.O., Shynkaryk, M.M., Voroshchuk, V. Ia. (2007). Tekhnolohichne obladnannia molochnykh vyrobnytstv [Technological equipment of dairy production]. Kyiv: Firma „INKOS”, tsentr navchalnoi literatury, 344.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАСТЕРИЗАТОРЫ МОЛОКА НА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ

В. А. Мирошник, Т. И. Лендел

Аннотация. На базе математической модели пастеризатора молока разработана имитационная модель с использованием пакета Simulink MATLAB. С помощью имитационной модели проведены исследования влияния регулирующих параметров процесса на температурные характеристики молока в различных секциях пастеризатора в динамическом режиме. В результате проведения экспериментальных и теоретических исследований получена динамическая характеристика секции пастеризации по каналу «расход горячей воды - температура пастеризованного молока». Указанная модель позволит разработать алгоритмы управления температурным режимом для увеличения производительности пастеризатора.

Ключевые слова: имитационная модель, исследования, пастеризатор молока, температурный режим

STUDY MILK PASTURERS ON THE IMITATION MODEL

V. Miroshnik, T. Lendiel

Abstract. Based on the mathematical model of milk pasteurizer, an imitation model was developed using the Simulink MATLAB package. Using the simulation model, studies have been carried out on the influence of process control parameters on the temperature characteristics of milk in different sections of the pasteurizer in a dynamic mode. As a result of experimental and theoretical studies, a dynamic characteristic of the pasteurization section was obtained through the channel "Hot water consumption - temperature of pasteurized milk". The given model will allow to develop algorithms of control of temperature mode for increase of productivity of a pasteurizer.

Key words: simulation model, research, milk pasteurizer, temperature regime