

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИТЕРИЯ ПАСТЕРИЗАЦИИ ДЛЯ ПЛАСТИНЧАТОЙ УСТАНОВКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПЛЕКСНОГО ЭНЕРГОЗАМЕЩАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА (КЭУ)

Ю.Б. Гербер, д.т.н., доцент, ЮФ НУБиП Украины «Крымский агротехнологический университет»

В статье приведены теоретические исследования по определению коэффициента пастеризации молока в пластинчатой установке с секцией предварительного подогрева. Для снижения затрат энергии в конструкции установки предусмотрено использование гелиоколлекторов, таким образом нагрев продукта в секции регенерации начинается с 22–24 °С. На основании зависимости изменения температуры продукта от площади нагрева получены формулы для определения критерия пастеризации как для отдельных секций установки, так и для пастеризатора в целом.

**Ключевые слова:** критерий пастеризации, пластинчатая установка, комплексное энергозамещающее устройство.

### Актуальность поставленной проблемы.

Процессы обеззараживания жидкостей нагревом изучаются более 100 лет многими отечественными и зарубежными исследователями, начиная с основателя пастеризации Луи Пастера. Наиболее интенсивно научные работы велись в области обоснования параметров и режимов работы пастеризаторов косвенного нагрева молока, теплоносителем в которых выступает пар или горячая вода. Большой вклад в решение этой проблемы внесли Кук Г.А., Ковалев Ю.Н. [1], Свириденко А.К. и Березин А.Н., Бредихин С.А., Диланян З.Х., Здановская В.С., Родионов Г.В., Тешев А.Ш. и другие.

Используемые в производстве промышленные пастеризационные аппараты имеют один общий существенный недостаток – высокие

удельные энергетические затраты на осуществление процесса.

Для устранения указанного недостатка предложена конструкция пастеризатора с секцией предварительного подогрева продукта, в контуре которой установлено комплексное энергозамещающее устройство с гелиоколлекторами.

**Целью данной статьи** является теоретическая оценка эффективности предложенного устройства с помощью критерия пастеризации.

Пастеризационная установка с использованием КЭУ содержит секции предварительного нагрева молока с помощью КЭУ 1, регенерации 2, нагрева 3, выдерживания 4, секции охлаждения проточной водой 5 и ледяной водой 6 (рис. 1).

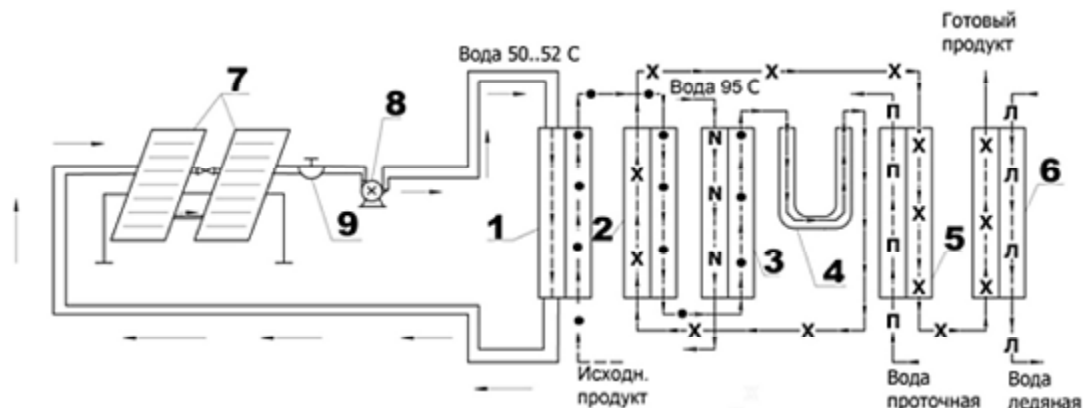


Рис. 1. Пастеризационная установка с использованием КЭУ:

- 1-секция предварительного подогрева; 2-секция регенерации; 3- секция нагрева; 4-секция выдержки; 5-секция охлаждения проточной водой; 6-секция охлаждения ледяной водой; 7- гелиоколлекторы; 8-насос; 9-клапан.

Основа установки – комплексное энергозамещающее устройство. В нем происходит подогрев воды первого контура, циркулирующей в гелиоколлекторах 7 до 55–60 °С. После подогрева вода подается в секцию предварительного нагрева поступающего на пастеризацию молока. Здесь происходит теплообмен между горячей водой и молоком, в результате чего молоко поступает в регенератор при температуре не 10–

12 °С (как в обычной установке), а подогретое до 22–24 °С. В секции регенерации идущее на пастеризацию молоко подвергается следующей ступени нагрева от молока, выходящего из выдерживателя с температурой 82–85 °С. За счёт работы КЭУ появляется возможность снижения затрат энергии на пастеризацию.

Горячее молоко выводится в выдерживатель, выдерживается в нём некоторое время в зависи-

мости от особенностей технологического процесса приготовления конкретного молочного продукта, и поступает в регенератор. В нём оно охлаждается встречным потоком холодного молока. Далее пастеризованное молоко переходит в следующую секцию пастеризатора, в которой происходит охлаждение его проточной, а затем ледяной водой. Эффективность пастеризации молока в такой установке зависит от температуры нагрева его и продолжительности воздействия этой температуры.

Известно, что температура 62°C и выше может подавлять микрофлору молока. До этой температуры любой аппарат выполняет функции лишь нагрева молока [4].

При температурах выше 62°C происходит пастеризация, для завершения которой требуется определённое время, зависящее от максимальной температуры нагрева молока.

Степень завершенности пастеризации определяется критерием Пастера  $P_a$  [2]. Величина его безразмерна и выражает отношение фактического времени воздействия на молоко температуры пастеризации  $t_p$  ко времени  $T_n$  её действия, достаточного для успешного завершения пастеризации (для подавления микрофлоры):

$$P_a = t_p / T_n \quad (1)$$

Согласно приведенной схеме (рис.1), молоко поступает сначала в секцию предварительного нагрева с КЭУ, затем в регенератор, нагревается до температуры регенерации  $t_p$ , далее нагревается в секции нагрева до температуры пастеризации  $t_n$ , выдерживается при этой температуре в течении времени  $T_{выд}$  и идёт на вход регенератора, где охлаждается потоком встречного молока до температуры  $t_k$ . Далее оно охлаждается водопроводной, а в заключении ледяной водой.

При минимально допустимой температуре пастеризации  $t_{min}$  зона температур выше её является зоной подавления микрофлоры и обеспечения качественной пастеризации. Интегральный эффект температурного поля пастеризации находится в пределах от  $t_{min}$  до  $t_n$  и далее до точки  $D$  кривой температур в регенераторе. Зоны ниже линии AD в определении критерия  $P_a$  не участвуют и существенной роли в подавлении микрофлоры молока не играют.

Условием достаточной пастеризации молока в такой установке будет:

$$P_a = P_{ан} + P_{ав} + P_{ап} \geq 1 \quad (2)$$

где  $P_{ан}$ ,  $P_{ав}$  и  $P_{ап}$  – частные эффекты пастеризации в нагревателе, выдерживателе и регенераторе (с учетом секции предварительного подогрева).

$$P_{ап} = P_{ап1} + P_{ап2},$$

здесь  $P_{ап1}$  – эффект пастеризации от работы секции предварительного подогрева с помощью

КЭУ,  $P_{ап2}$  – эффект пастеризации от работы основной секции регенерации.

Допуская, что зависимость изменения температуры в пластинах регенератора от площади охлаждения описывается линейным законом, и исключая потери тепла в окружающую среду, для секции регенерации можно записать следующее равенство:

$$\frac{t_n - t}{t_n - t_{min}} = \frac{F_p^1}{F_p}, \quad (3)$$

$t$  – текущая температура охлаждения молока в регенераторе в пределах до  $t_{min}$  (как показывает практика  $t_{min} = 60...62^\circ\text{C}$ );

$F_p^1$  – площадь поверхности регенератора, в которой температура молока снижается от  $t_n$  до  $t$ ,  $F_p$  – то же в пределах температур от  $t_n$  до  $t_{min}$ .

Время пребывания молока в регенераторе также пропорционально площади поверхности нагрева  $F$ :

$$\frac{t_n - t}{t_n - t_{min}} = \frac{T_p}{T_{оп}},$$

где  $T_p$  и  $T_{оп}$  – время пастеризации, соответствующие  $F_p^1$  и  $F_p$ .

$$\text{Отсюда } dT_p = - \frac{dT}{t_n - t_{min}} \cdot T_{оп}.$$

Известно, что время выдержки  $T_{п}$  для полного подавления микрофлоры в молоке при значении температуры  $t$  его нагрева вид [55]:

$$\ln T_{п} = \alpha - \beta t$$

Тогда  $T_{п} = e^{\alpha - \beta t}$ , а обратная  $на 1/T_{п} = e^{-\alpha + \beta t}$ .

Интегральное значение  $P_a$  для регенератора будет:

$$P_{ап2} = \int \frac{dT_p}{dT_{оп}} = \frac{T_{оп}}{t_n - t_{min}} \cdot \frac{1}{\beta} \left| e^{-\alpha + \beta t} \right|_{t_{min}}^{t_n}.$$

Отсюда для  $P_{ап2} = 1$  получим время пастеризации молока только засчёт регенератора:

$$T_{оп} = (t_n - t_{min}) \beta \cdot \frac{1}{|e^{-\alpha + \beta t}|_{t_{min}}^{t_n}} \quad (4)$$

Следовательно:

$$P_{ап2} = \frac{t_n - t_{min}}{t_n - t} \quad (5)$$

По аналогии с вышеприведенными рассуждениями допуская, что зависимость изменения температуры в пластинах секции предварительной регенерации с использованием КЭУ от площади охлаждения описывается линейным законом, и исключая потери тепла в окружающую среду, для указанной секции можно записать следующее равенство:

$$\frac{t_n - t - t_0}{t_n - t_{min} - t_{max}^1} = \frac{F_p^1}{F_p} F_{p2} \quad (6)$$

где  $t_0$  – температура поступающего молока в секцию предварительной регенерации;

$t_{max}^1$  – максимальная температура нагрева

молока в указанной секции (как показали эксперименты  $t_{max}^1 = 45-50^\circ\text{C}$ );

$F_{p2}$  - площадь поверхности регенератора КЭУ, в которой температура молока повышается от  $t_0$  до  $t_{max}^1$ .

Полученная зависимость отражает влияние на тепловой режим работы установки двух секций: предварительного нагрева (регенератор с использованием КЭУ) и основной секции регенерации.

#### **Выводы.**

1. Проведенный анализ подтверждает гипотезу о снижении энергетических затрат на прове-

дение пастеризации молока за счет предварительного повышения температуры продукта в дополнительно установленной секции предварительного подогрева.

2. Получена формула для определения критерия пастеризации в случае использования секции предварительного подогрева.

3. Получена зависимость, отражающая влияние на тепловой режим работы установки двух секций: предварительного нагрева (регенератор с использованием КЭУ) и основной секции регенерации.

#### **Список использованной литературы:**

1. Ковалев Ю.Н. Установки для пастеризации молока / Ю.Н. Ковалев, - М.: Россельхозиздат, 1981. - 80 с.
2. Атраментов А.Г. Совершенствование первичной обработки молока / А.Г. Атраментов. -М.: Агропромиздат, 1990. - 63 с.
3. Липатов Н.Н. Экология молока и молочных продуктов / Н.Н. Липатов // Обзорная информация. -М.: АгроНИИТЭИММП, 1991. - 69 с.
4. Пономарев А. Н. Методы контроля заготавливаемого молока / А.Н.Пономарев // Молочная промышленность. - 2005. - №2. - с.21.
5. Borde-Jekona Bias Mantenimiento de la calidad de la leche pasteurizada y ultra pasteurizada a diferentes temperaturas de conservación // Alimentaria/ - 1995. -V.33, №. 263.-P. 67-69.
6. Akuzawa Ryoza Changes in milk-like aroma of raw milk induced by heat treatment // Nihon chikusan gakkaiho — Anim. Sci. and Technol. — 1995. — V. 66, № 11.-P.957-961.

#### **Гербер Ю. Б. ВИЗНАЧЕННЯ КРИТЕРІЮ ПАСТЕРИЗАЦІЇ ДЛЯ ПЛАСТИНЧАСТОЇ УСТАНОВКИ З ВИКОРИСТАННЯМ КОМПЛЕКСНОГО ЕНЕРГОЗАМІЩУЮЧОГО ПРИСТРОЮ (КЕП)**

У статті наведено теоретичні дослідження з визначення коефіцієнта пастеризації при обробці молока в пластинчастій установці з секцією попереднього підігріву. Основа установки – комплексний енергозаміщений пристрій. У ньому відбувається підігрівання води першого контуру, що циркулює в геліоколекторі до  $55-60^\circ\text{C}$ . Після підігрівання вода подається в секцію попереднього нагрівання, що надходить на пастеризацію молока. Тут відбувається теплообмін між гарячою водою і молоком, в результаті чого молоко потрапляє у регенератор при температурі не  $10-12^\circ\text{C}$  (як у звичайної установки), а підігрітим до  $22-24^\circ\text{C}$ . У секції регенерації, що йде на пастеризацію, молоко піддається наступному ступеню нагрівання від молока, що виходить з витримувача з температурою  $82-85^\circ\text{C}$ . За рахунок роботи КЕУ з'являється можливість зниження витрат енергії на пастеризацію. На підставі залежності зміни температури продукту від площі нагріву отримано формули для визначення критерію пастеризації як для окремих секцій установки, так і для пастеризатора в цілому.

**Ключові слова:** критерій пастеризації, пластинчаста установка, комплексний енергозаміщуючий пристрій.

#### **Gerber Y.B. PASTEURIZATION CRITERIY DETERMINATION FOR PLATE DEVICE WITH THE INTEGRATED EQUIPMENT**

The paper presents the theoretical study to determine the coefficient of pasteurization in milk processing plant with a plate section preheating. To reduce energy costs in the construction of the installation is provided the use of solar collectors, thereby heating the product recovery section starts with  $22-24^\circ\text{C}$ . The dependence of the temperature change of the product obtained from heating area formula for determining its pasteurization for individual sections of the plant, and for the whole of the pasteurizer.

**Keywords:** criterion pasteurization, plate installation, integrated energy save device .

Стаття надійшла в редакцію: 13.09.2013р.

Рецензент: д.т.н., професор Сухарьов В.А.