

# ПРОЦЕССЫ И МАШИНЫ АГРОИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ

УДК 637.1.023

О.А. Герасимова, С.В. Соловьев, Е.А. Соловьева, А.С. Чесноков  
O.A. Gerasimova, S.V. Solovyev, Ye.A. Solovyeva, A.S. Chesnokov

## ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТЕРМИЗАЦИИ МОЛОКА

### THEORETICAL SUBSTANTIATION OF MILK THERMIZATION PROCESS

**Ключевые слова:** животное, молоко, пастбищный комплекс, технология, первичная обработка, качество, термизация.

Одним из наиболее важных и перспективных направлений сельскохозяйственного производства является молочное животноводство, так как только оно сможет в сложившихся экономически сложных условиях импортозамещения обеспечить потребности населения в незаменимом продукте питания отечественного производства. При этом самым перспективным направлением, на наш взгляд, является использование пастбищного содержания коров в летний период для условий северо-запада Российской Федерации. Однако при использовании технологии стойлово-пастбищного содержания коров в данных экологических условиях особо важным нерешенным вопросом остается получение высококачественного молока, отвечающего современным требованиям к показателям качества продукта. В связи с ухудшением экологической обстановки в целом молоко, получаемое от животных, зачастую является уже бактериально обсемененным. И основная задача при его получении будет заключаться в снижении воздействия вредных микроорганизмов именно в парном молоке. Из известных способов снижения бактериальной обсемененности наиболее эффективным при сохранении свойств сырого молока является нагревание молока до 63...65°C с выдержкой до 30 с и последующим охлаждением до температуры хранения 4°C. Применение такой термизации, как операции в составе технологического процесса первичной обработки, позволяет сельхозпроизводителям решить проблему качества молока-сырья, связанную с высокой бактериальной загрязненностью, и повысить сортность молока-сырья. На основании последнего заключения нами была разработана технологическая схема первичной обработки молока, включающая термизацию молока с последующим охлаждением.

ем. В качестве установки для термизации использован термизатор с рекуператором. В целях дальнейшего проектирования установки был произведен расчет змеевикового теплообменника с рекуператором.

**Keywords:** animal, milk, pasture complex, technology, primary treatment, quality, thermization.

Dairy cattle breeding is an important and promising farming branch as it may provide the country's population with adequate amounts of indispensable domestic food stuffs under the current difficult economic conditions of import substitution. We believe camp-grazing system in summer is the most promising trend in dairy cattle farming under the conditions of the North-Western Region of the Russian Federation. However, the camp-grazing system under the environmental conditions of the region poses a problem of milk quality. Due to general environmental deterioration, the obtained milk is very often contaminated with bacteria. Thus, the main task in milk production is to decrease the influence of harmful microorganisms at the stage of the milk fresh from the cow. The most effective method to decrease the level of bacterial insemination in fresh milk is to heat milk up to 63...65°C with holding up to 30 s, and cooling it to the storage temperature of 4°C. Thermization as a technological stage of primary treatment makes it possible to solve fresh milk quality problem caused by high bacterial insemination, and increase fresh milk quality rating. In this regard, we have developed a technological flow chart of fresh milk treatment that consists of milk thermization and its further cooling. Thermizer equipped with a wasteheat exchanger is suggested to be used to decrease the level of harmful microorganisms. Design calculation of a coiled heat exchanger equipped with recuperator has been performed.

**Герасимова Ольга Александровна**, к.т.н., преп., каф. «Механизация животноводства и применение электрической энергии в сельском хозяйстве», Великолукская государственная сельскохозяйственная академия. E-mail: olga-gerasimova@rambler.ru.

**Соловьев Сергей Викторович**, к.т.н., преп., каф. «Механизация животноводства и применение электрической энергии в сельском хозяйстве», Великолукская государственная сельскохозяйственная академия. E-mail: mavrsol@yandex.ru.

**Соловьева Елена Александровна**, к.с.-х.н., преп., филиал Псковского государственного университета г. Великие Луки. E-mail: mavrsol@yandex.ru.

**Чесноков Антон Сергеевич**, аспирант, Великолукская государственная сельскохозяйственная академия. E-mail: olga-gerasimova@rambler.ru.

**Gerasimova Olga Aleksandrovna**, Cand. Tech. Sci., Asst. Prof., Chair of Farming Mechanization and Electrical Power Use in Farming, Velikiye Luki State Agricultural Academy. E-mail: olga-gerasimova@rambler.ru.

**Solovyev Sergey Viktorovich**, Cand. Tech. Sci., Asst. Prof., Chair of Farming Mechanization and Electrical Power Use in Farming, Velikiye Luki State Agricultural Academy. E-mail: mavrsol@yandex.ru.

**Solovyeva Yelena Aleksandrovna**, Cand. Agr. Sci., Asst. Prof., Branch of Pskov State University in Velikiye Luki. E-mail: mavrsol@yandex.ru.

**Chesnokov Anton Sergeevich**, post-graduate student, Velikiye Luki State Agricultural Academy. E-mail: olga-gerasimova@rambler.ru.

## Введение

Трубчатые аппараты изготавливают на основе унифицированных теплообменных цилиндров. Основной частью в этих цилиндрах являются трубки, ввальцованные или вваренные в трубные решетки, которые вставлены в теплоизолированный цилиндр, закрытый кожухом. Тепло- или хладоноситель подают в межтрубное пространство, а продукт – в трубки.

Трубчатые аппараты имеют ряд преимуществ: небольшое число уплотнительных резиновых уплотнений и, как следствие, их высокую надежность; возможность нагрева продукта в потоке. Недостатком теплообменников трубчатого типа является их относительно высокие габаритные размеры.

Проточные установки выгодно отличаются. Они обеспечивают высокую скорость теплообмена, исключают перенагрев и переохлаждение молока.

Для условий пастбищного доения целесообразно подбирать оборудование для первичной обработки молока таким образом, чтобы иметь гарантии качественного выполнения данного процесса, т.е. простота конструкции и доступность в управлении процессом для обслуживающего персонала.

**Цель** исследования – повышение качества молока-сырья, производимого на пастбищных комплексах, за счёт снижения бактериальной загрязнённости путём совершенствования средств механизации линии доения и первичной обработки молока, а также оптимизации ее параметров и ре-

жимов работы для достижения высших мировых стандартов по качеству продукции.

**Задача** исследования – рассчитать рациональные конструктивно-технологические параметры и режимы работы термизатора молока с рекуператором, входящим в состав линии первичной обработки молока на пастбищных доильных площадках.

## Объекты и методы

Объектами исследования являются технология пастбищного содержания коров и рабочий процесс технических средств для повышения качества молока-сырья [5].

Теоретические исследования проводились на основе математического анализа и рабочих процессов машин с использованием методов теоретической механики, дифференциального и интегрального исчисления, и численных методов.

## Результаты и их обсуждение

На основе экспериментальных данных [7] молоко после термизации с температурой 63...65°C в тепловом аппарате должно быть охлаждено до конечной температуры 38...40°C ( $t_{кон.терм.} = 38^\circ\text{C}$ ) в пластинчатом теплообменнике-охладителе. Охладитель состоит из двух секций: Iс – секция рекуперации, где термизированное молоко подогревает идущее на термизацию после дойки и очистки молоко с начальной температурой около 36°C ( $t_{м.парн} = 36^\circ\text{C}$ ).

Отдавшее свое тепло в Iс термизированное молоко поступает во II секцию, где охлаждается в противотоке до конечной

температуры  $t_{ис.кон} = 38...40^{\circ}C$ . Принимаем подачу молока  $0,5 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

По I секции требуется установить:

1) конечную температуру горячего потока термизированного молока перед рекуперацией  $t_{терм}^{кон} = 63...65^{\circ}C$ ;

2) конечную температуру холодного потока молока  $t_{м.хол}^{кон} = 53^{\circ}C$  после рекуперации;

3) установить необходимое количество пакетов в секции, пластин. Составить схему комплектования потоков горячего и холодного молока;

4) определить гидравлическое сопротивление в I с.

По II секции требуется определить:

1) технологические параметры по горячему молоку при начальной его температуре  $t_{гор.м}^{нач} = 53^{\circ}C$  (объем, подача и т.д.), принимаем  $t_{хол.м}^{кон. II} = 38...40^{\circ}C$ , после охлаждения противотоком.

2) количество пластин, пакетов, комплектование пакетов;

3) гидравлическое сопротивление.

Определяем разность температур в начале и конце секции рекуперации при установившемся процессе.

Принимаем систему противотока. Для противоточных аппаратов между  $\varepsilon$  (коэффициент рекуперации),  $t_{терм}^{нач}$ ,  $t_{хол.м}^{нач}$  и средним температурным напором  $\theta$  существует зависимость

$$\theta = (1 - \varepsilon)(t_{терм}^{нач} - t_{хол.м}^{нач}) = 0,2(65 - 53) = 2,4^{\circ}C$$

$$\theta = (1 - 0,8)(65 - 38) = 5,8^{\circ}C$$

Нагреваемая и охлаждаемые среды – молоко, его удельная теплоемкость зависят от температуры, поэтому линии холодной и горячей сред будут параллельными прямыми (рис. 1), следовательно,

$$t_{нагр}^{кон. I с} = t_{м.хол}^{нач} + \theta = 36 + 5,8 = 41,8^{\circ}C;$$

$$t_{терм}^{нач. I с} = t_{терм}^{нач} - \theta = 53 - 5,8 = 47,2^{\circ}C.$$

Средние температуры холодной и горячей сред:

$$t_{м.хол}^{ср} = 0,5(36 + 47,2) = 41,6^{\circ}C;$$

$$t_{терм}^{ср} = 0,5(65 + 41,8) = 53,4^{\circ}C.$$

Из литературных источников [4] находим значения теплофизических констант для указанных температур и заносим в таблицу.

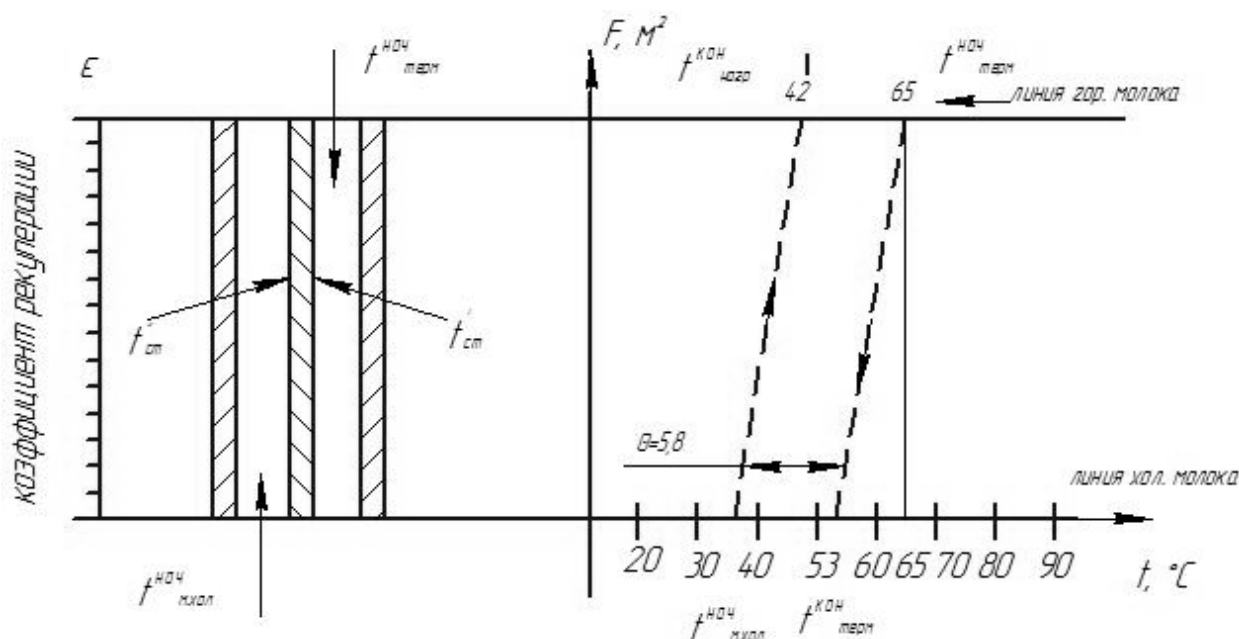


Рис. 1. Температурный график первой секции

Теплофизические константы для молока [4]

Показатели	Теплоемкость, $c_p$ , кДж/(кгК)	Динамическая вязкость, $\mu$ , Па·с	Плотность $\rho_m$ , кг/м <sup>3</sup>	Теплопроводность, $\lambda$ , Вт/(мК)	Температуропроводность $a$ , м <sup>2</sup> /с	Кинематическая вязкость, $\nu$ , м <sup>2</sup> /с
Поток холодного молока	3,65	$13,1 \cdot 10^{-4}$	1035	0,51	$0,13 \cdot 10^{-6}$	1,25
Поток горячего молока	3,67	$8,0 \cdot 10^{-4}$	1029	0,67	$0,166 \cdot 10^{-6}$	0,81

Определяем числа подобия, характеризующие процесс теплообмена холодной и горячей сред.

Рекомендуемая скорость течения сред жидкостей с вязкостью, близкой к воде и для каналов, образованных пластинами сетчато-поточного типа  $v = 0,25-0,8$  м/с [1].

Принимаем пластину ПР-0,3 (пластина рифленая 0,3 м<sup>2</sup>), материал – сталь 1Х18Н9Т [ $\lambda_c = 16,3$  Вт/(мК)]; поверхность теплообмена  $F_{пл} = 0,3$  м<sup>2</sup>; эквивалентный диаметр  $d_{эвк} = 0,008$  м ( $d_{эвк} = \frac{4f}{\Pi} = \frac{4dh}{2b} = 2h$ ); площадь поперечного сечения канала  $f = 0,0011$  м<sup>2</sup>; приведенная длина одного канала  $l_{гр} = 1,12$  м; толщина стенки (пластины)  $\delta_{ст} = 0,001$  м.

При числе параллельных каналов в одном ходе (пакете), равном 3, принимаем среднюю скорость движения подогреваемого молока  $v_{м.терм}$ , м/с, в рекуператоре будет

$$v_{м.терм} = \frac{M}{3f} = \frac{0,0003}{3 \cdot 0,0011} = 0,084,$$

где  $M$  – производительность рекуператора,  $M = 0,0003$  м<sup>3</sup>/с.

Число Рейнольдса с учетом этой скорости

$$Re_{хол} = \frac{\rho_{хол} v_{м.терм} d_{эвк}}{\mu_{хол}} = \frac{1035 \cdot 0,084 \cdot 0,008}{13,1 \cdot 10^{-4}} = 551,4;$$

$$Re_{терм} = \frac{\rho_{терм} v_{м.терм} d_{эвк}}{\mu_{терм}} = \frac{1029 \cdot 0,084 \cdot 0,008}{8 \cdot 10^{-4}} = 902,9.$$

Число Прандтля

$$Pr_{хол} = \frac{v_{хол}}{d_{хол}} = \frac{1,25 \cdot 10^{-6}}{0,125 \cdot 10^{-6}} = 10,0;$$

$$Pr_{терм} = \frac{v_{терм}}{d_{терм}} = \frac{0,81 \cdot 10^{-6}}{0,166 \cdot 10^{-6}} = 4,88.$$

Переход от ламинарного к турбулентному режиму для каналов пластин марки ПР-0,3 соответствует  $Re_{кр} = 200$ . Расчет критериев  $Re_{хол}$  и  $Re_{гор}$  показывает, что режим течения холодного и горячего потоков турбулентный.

Рассчитываем число Нуссельта, используя уравнение подобия в пластинчатом аппарате

$$Nu_{жс} = 0,135 Re_{жс}^{0,73} Pr_{жс}^{0,43} (Pr_{жс}/Pr_{ст})^{0,5}.$$

Влияние направления теплового потока учитываем в первом приближении

$$t'_{ст} \approx t''_{ст} = 0,5(t_{м.хол} + t_{терм}) = 0,5(52,2 + 64,8) = 58,5^\circ\text{C}.$$

При этой температуре находим свойства и вычисляем

$$Pr_{ст} = \frac{v}{a} = \frac{g\mu}{\rho a} = \frac{9,8 \cdot 11,2 \cdot 10^{-4}}{1070 \cdot 0,154 \cdot 10^{-6}} = 6,68.$$

$$\left(\frac{Pr_{терм}}{Pr_{ст}}\right)^{0,25} = 0,95; \quad \left(\frac{Pr_{хол}}{Pr_{ст}}\right)^{0,25} = 1,05.$$

Критерий Нуссельта

$$Nu_{хол} = 0,135 \cdot 551,4^{0,73} \cdot 10^{0,43} \cdot 1,05 = 33,28;$$

$$Nu_{терм} = 0,135 \cdot 902,2^{0,73} \cdot 4,88^{0,43} \cdot 0,95 = 31,7.$$

Коэффициент теплообмена (теплообмена)

$$\alpha_{хол} = Nu_{хол} \frac{\lambda_{хол}}{d_{эвк}} = 33,28 \frac{0,51}{0,008} = 2121,6 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К});$$

$$\alpha_{терм} = Nu_{терм} \frac{\lambda_{терм}}{d_{экв}} = 31,7 \frac{0,67}{0,008} = 2654,8 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Коэффициент теплопередачи

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{хол}} + \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} + \frac{1}{\alpha_{гор}}} = \frac{1}{\frac{1}{2121,6} + \frac{0,001}{16,3} + \frac{1}{2654,8}} = 1111,1 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Тепловой поток из уравнения теплового баланса

$$Q = M \cdot \rho_{терм} c_{терм} (t_{терм}^{нач} - t_{терм}^{кон}) = 0,0003 \cdot 1035 \cdot 3,65 (66 - 42) = 27,2 \text{ кВт} = 27200 \text{ Вт}.$$

Общая теплопередающая поверхность аппарата

$$F_{рек} = \frac{Q}{K \cdot \theta} = \frac{27000}{1111,1 \cdot 6} = 4,08 \text{ м}^2.$$

Компоновка I секции. Принимаем в одном ходе (пакете) 3 параллельных канала, каждый из которых ограничен двумя пластинами 0,3 м<sup>2</sup> каждая.

Тогда поверхность одного хода составит

$$F_1 = 3 \cdot 2 \cdot 0,3 = 1,8 \text{ м}^2;$$

число ходов в секции (число каналов)

$$n_x = \frac{F_{терм}}{F_1} = \frac{4,08}{1,8} = 2,26.$$

Округляем в большую сторону, тогда  $n_x = 3$ .

Составляем схему компоновки  $c_k^I$

$$c_k^I = \frac{3+3+3}{3+3+3} = \frac{\text{поток теплоотдающего молока}}{\text{поток нагреваемого молока}}.$$

Итого 19 пластин в I секции в виде трех пакетов, их них 2 пластины поворотные (рис. 2).

Гидравлическое сопротивление одного хода аппарата определяем по уравнению подобия [6]

$$Eu = 1350 Re^{-0,25};$$

$$Eu_{хол} = 1350 \cdot 551,4^{-0,25} = 278,58;$$

$$Eu_{терм} = 1350 \cdot 902,9^{-0,25} = 246,35.$$

Потери давления в одном ходе на стороне холодного и горячего потока составят

$$\Delta p_{хол}^I = Eu_{хол} \rho_{хол} v^2 = 278,58 \cdot 1035 \cdot 0,094^2 = 2113 \text{ Па} = 2,113 \text{ кПа};$$

$$\Delta p_{терм}^{II} = Eu_{терм} \rho_{терм} v^2 = 246,35 \cdot 1029 \cdot 0,084^2 = 1858 \text{ Па} = 1,858 \text{ кПа}.$$

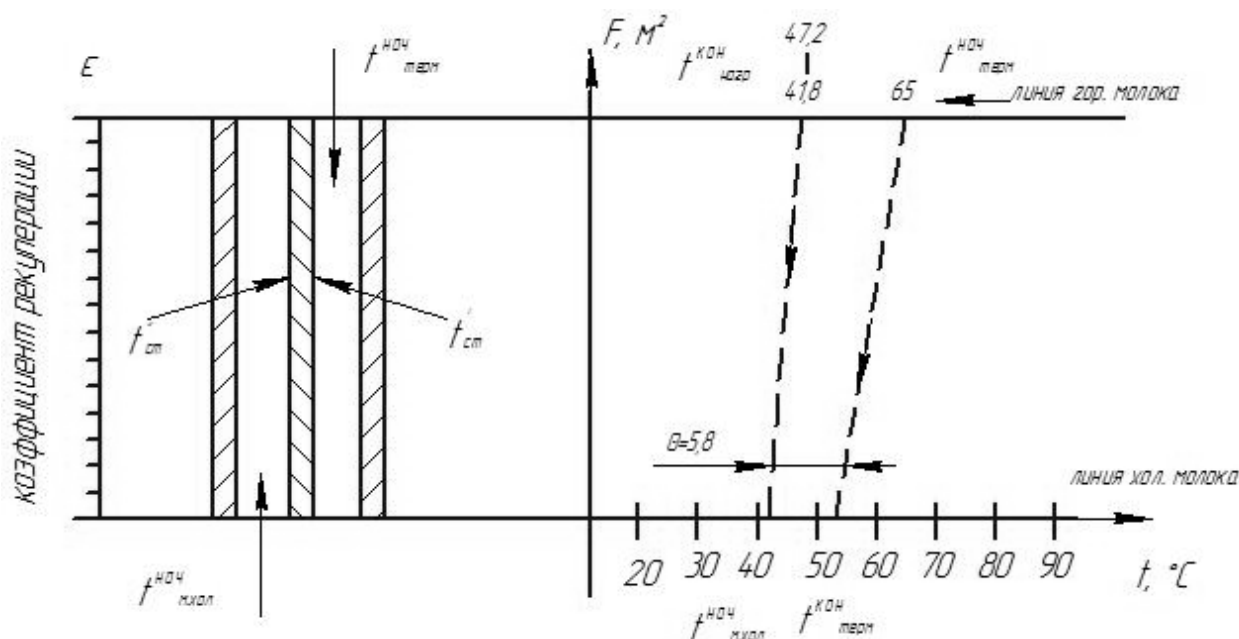


Рис. 2. Схема движения горячего и холодного потоков молока в противотоке в I секции рекуперации

Потери давления в аппарате на стороне холодного и горячего потоков (полная потеря давления при трех пакетах):

$$\Delta p_{\text{хол}} = \Delta p'_{\text{хол}} \cdot 3 = 2,113 \cdot 3 = 6,34 \text{ кПа};$$

$$\Delta p_{\text{терм}} = \Delta p''_{\text{терм}} \cdot 3 = 1,858 \cdot 3 = 5,57 \text{ кПа}$$

(сравнить давлением (напором) на выходе из термизатора).

Общая схема аппарата приведена на рисунке 3.

II секция.

Исходные данные – охлаждение во второй секции охлаждения.

Молоко поступает из I секции на дальнейшее охлаждение  $t_{\text{МН}} = 42^{\circ}\text{C}$ , конечная температура после охлаждения  $t_{\text{МК}} \approx 40^{\circ}\text{C}$ , начальная температура холодного молока  $t_{\text{РН}} = 36^{\circ}\text{C}$ . Принимаем конечную температуру  $t_{\text{МК}} = 40^{\circ}\text{C}$ .

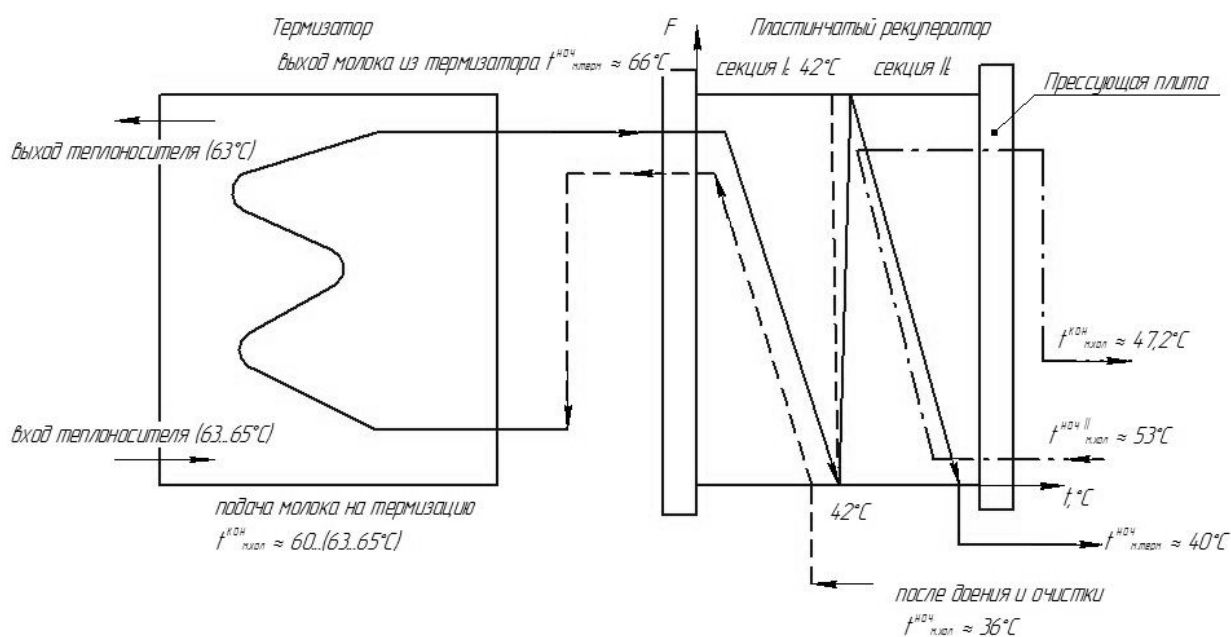


Рис. 3. Температурный график общей схемы аппарата

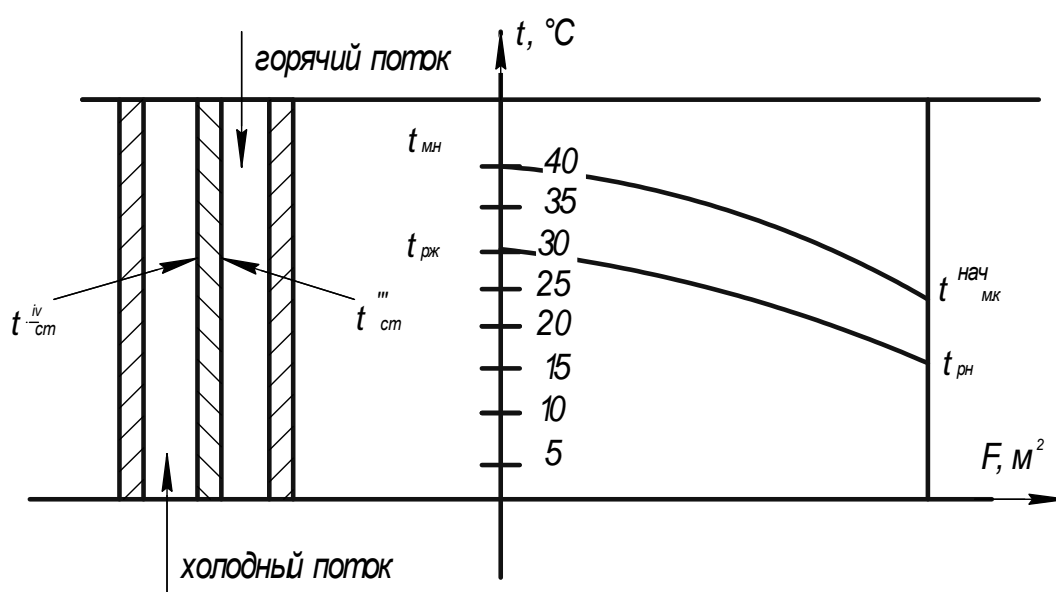


Рис. 4. Температурный график второй секции

Теплоотдающая среда – молоко и теплопринимающая среда – молоко холодное отличаются по своим свойствам, поэтому принимаем подчинение их графиков зависимостей логарифмическому закону. Принимаем также противоток.

$$\theta = \frac{(t_{\text{мн}} - t_{\text{мк}}) - (t_{\text{мк}} - t_{\text{рн}})}{2,31g \frac{(t_{\text{мк}} - t_{\text{рн}})}{(t_{\text{мн}} - t_{\text{рн}})}} = \frac{(42 - 30) - (40 - 36)}{2,31g \frac{(40 - 30)}{(40 - 36)}} = 2,85^{\circ} \text{C}$$

Тепловая нагрузка II секции

$$Q = M'_M c_M (t_{\text{мн}} - t_{\text{мк}}),$$

где  $M'_M$  – скорость потока молока (производительность пластинчатого охладителя) принимаем из расчета I секции

$$M'_M = 1 \text{ м}^3/\text{ч} = 0,28 \text{ кг/с.}$$

$$Q = 0,28 \cdot 3,94(42 - 40) = 2,2 \text{ кВт.}$$

Количество рассола

$$G_p = \frac{Q}{c_p (t_{\text{рк}} - t_{\text{рн}})} = \frac{2,2}{4,18(40 - 36)} = 0,13 \text{ кг/с.}$$

Среднюю температуру молока и холодного молока во II секции при совпадении объемов (подаче) определим как среднее арифметическое

$$t_p = 0,5(t_{\text{рн}} + t_{\text{рк}}) = 0,5(36 - 30) = 33^{\circ}\text{C};$$

$$t_m = 0,5(t_{\text{мн}} + t_{\text{мк}}) = 0,5(42 - 40) = 41^{\circ}\text{C.}$$

Средняя скорость рассола во II секции при числе параллельных ходов, равном ( $n = 4$ ),

$$v_p = \frac{G_p}{f_n},$$

$f_n$  – площадь поперечного сечения канала,  $f_n = 0,0011 \text{ м}^2$ .

$$v_p = \frac{0,28}{f_n} = \frac{0,28}{1100 \cdot 4 \cdot 0,0011} = 0,058 \text{ м/с.}$$

Определяем коэффициент теплоотдачи со стороны холодного молока при  $t_{p\text{max}} = 40^{\circ}\text{C}$ , физическая характеристика холодного молока будет  $\nu_p = 1,95 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ ;  $\lambda_p = 0,554 \text{ Вт}/(\text{мК})$ ;  $Pr = 0,13$ .

Критерий Рейнольдса по холодному молоку

$$Re_{\text{хол}} = \frac{v_p d_{\text{экв}}}{\nu_p} = \frac{0,058 \cdot 0,008}{1,95 \cdot 10^{-6}} = 238,$$

где  $d_{\text{экв}}$  – эквивалентный диаметр проходного сечения,  $d_{\text{экв}} = 0,008 \text{ м}$ .

Переход от ламинарного к турбулентному режиму для каналов пластинчатого типа марки ПР-0,3 соответствует  $Re_{\text{кр}} = 200$ . Таким образом, имеем турбулентный режим. При этом уравнение подобия

$$Nu_p = 0,021 Re_3^{0,8} Pr_p^{0,43} (Pr_p / Pr_{cm})^{0,25},$$

$Pr_{cm}$  – число Прандтля для стенки.

Пока температуру стенки можно считать неизвестной. В первом приближении ее можно определить как среднюю арифметическую из средней температуры молока и холодного молока, направленного теплового потока

$$t_{cm} = 0,5(t_p + t_m) = 0,5(33 + 41) = 37^{\circ}\text{C.}$$

$$Pr_{cm} = \frac{\nu}{a} = \frac{g\mu}{\rho a} = \frac{9,8 \cdot 11,2 \cdot 10^{-4}}{1070 \cdot 0,154 \cdot 10^{-6}} = 6,68.$$

$$\left( \frac{Pr_p}{Pr_{cm}} \right)^{0,25} = \frac{13}{6,68} = 1,18.$$

$$\text{Тогда } Nu_p = 0,021 \cdot 238^{0,8} \cdot 13^{0,43} \cdot 1,18 = 5,9.$$

Коэффициент теплоотдачи со стороны холодного молока

$$\alpha_p = Nu_p \frac{\lambda_p}{d_{\text{экв}}} = 5,9 \frac{0,554}{0,008} = 410 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Скорость молока во II секции с 4 потоками исходя из первоначально установленной производительности  $1 \text{ м}^3/\text{ч}$ :

$$v_m = \frac{M'_M}{f_n} = \frac{1}{0,0011 \cdot 4 \cdot 3600} = 0,063 \text{ м/с.}$$

Коэффициент теплоотдачи со стороны молока при  $t_{p\max} = 39,6^\circ\text{C}$  имеем  $\nu_m = 1,26 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ ;  $\lambda_m = 0,47 \text{ Вт}/(\text{мК})$ .

$$Re_m = \frac{0,063 \cdot 0,008}{0,221 \cdot 10^{-6}} = 2280 \quad (\text{развитое}$$

турбулентное движение).

Расчет критериев  $Re_{хол}$  и  $Re_{гор}$  показывает, что режим течения холодного и горячего потоков турбулентный:

$$Pr_m = \frac{\nu_m}{a_m} = \frac{1,26 \cdot 10^{-6}}{0,125 \cdot 10^{-6}} = 10,0;$$

$$\left(\frac{Pr_m}{Pr_{cm}}\right)^{0,25} = \left(\frac{10}{6,68}\right)^{0,25} = 1,1.$$

$$Nu_m = 0,021 Re_m^{0,8} Pr_m^{0,43} \left(\frac{Pr_m}{Pr_{cm}}\right)^{0,25} = 0,021 \cdot 2280^{0,8} \cdot 10^{0,43} (10/6,68)^{0,25} = 30,1;$$

$$\alpha_m = Nu_m \frac{\lambda_m}{d_{эжв}} = 30,1 \frac{0,47}{0,008} = 1771 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Коэффициент теплопередачи

$$K = \frac{1}{\frac{1}{1771} + \frac{0,001}{16,3} + \frac{1}{410}} = 327,8 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Общая теплопередающая поверхность аппарата

$$F_{рек} = \frac{Q}{K \cdot \theta} = \frac{37876}{327,9 \cdot 8,4} = 13,75 \text{ м}^2.$$

Компоновка II секции. Тогда поверхность одного хода составит

$$F_l = 4 \cdot 2 \cdot 0,3 = 2,4 \text{ м}^2.$$

Число ходов в секции (число каналов)

$$n_x = \frac{F}{F_l} = \frac{13,75}{2,4} = 5,73.$$

Округляем в большую сторону, тогда  $n_x = 6$ .

Составляем схему компоновки  $c_k^{II}$

$$c_k^{II} = \frac{4+4+4+4+4+4}{4+4+4+4+4+4} \quad (48 \text{ пластин, в}$$

том числе 5 поворотных).

С учетом I секции имеем общее количество пластин:  $n_{общ} = n_{Ic} + n_{IIc} = 19 + 48 = 67$ .

Гидравлическое сопротивление рассчитывается по аналогии с предыдущим расчетом (I секции).

Конечная тепловая схема, характеризующая взаимодействие элементов, участвующих в термизации и последующем охлаждении молока в условиях пастбищного животноводства, представлена на рисунке 5. В рекуператоре и термизаторе указаны температурные этапы нагрева и охлаждения. В термизаторе продолжительность этапа нагрева до  $50 \dots 55, 55 \dots 63, 63 \dots 65^\circ\text{C}$  – 5 с.

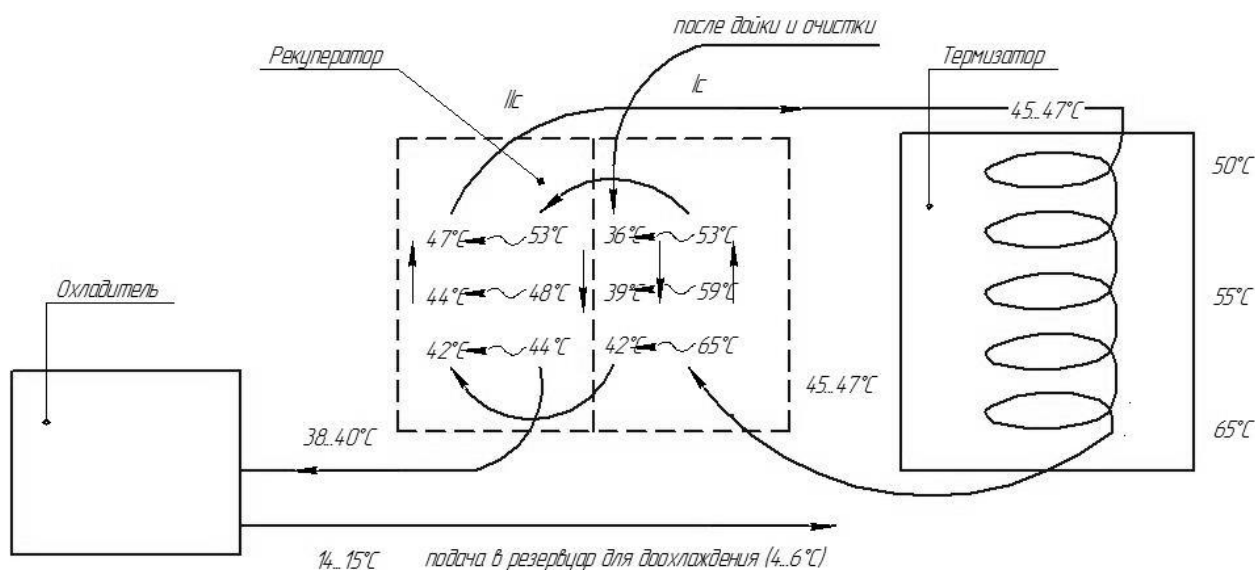


Рис. 5. Тепловая схема взаимодействия элементов систем термизации и охлаждения молока



### Выводы

Произведенный нами расчет позволяет определить энергетическую эффективность тепловой схемы взаимодействия элементов систем термизации и охлаждения молока для последующего создания экспериментальной установки. С целью определения оптимальных показателей предложенного технологического и конструктивного решения, обеспечивающего получение высококачественного молока на пастбищных комплексах.

### Библиографический список

1. Кук Г.А. Процессы и аппараты молочной промышленности. – М.: Пищепромиздат, 1955. – 472 с.
2. Резервуар для термизации молока в условиях пастбищ: пат. на изобретение № 2536968 Рос. Федерация: А23С3/02 / Шилин В.А., Герасимова О.А.; заявитель и патентообладатель Великолукская гос. с.-х. академия. – № 2012119777/10; заявл. 14.05.2012; опубл. 27.12.2014.
3. Решение о выдаче патента на полезную модель по заявке № 2015139163 Резервуар для термизации молока Рос. Федерация: А23С3/02 / Шилин В.А., Герасимова О.А., Чесноков А.С.; заявитель и патентообладатель Великолукская гос. с.-х. академия. – № 2015139163; заявл. 14.09.2015; опубл. 10.10.2016.
4. Тепел А. Химия и физика молока / пер. с немец. языка С.А. Фильчакова. – СПб.: Профессия, 2012. – 832 с.
5. Тихомиров И.А., Тихомирова Г.С. Рекомендации по повышению качества молока. – Орел: Изд-во ОГАУ, 2009. – 15 с.

6. Кутателадзе С.С. Теплопередача и гидродинамическое сопротивление. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 367 с.

7. Герасимова О.А. Первичная обработка молока на пастбищных комплексах // Вестник Бурятской ГСХА. – 2015. – № 3.

### References

1. Kuk G.A. Protsessy i apparaty molochnoy promyshlennosti. – М.: Pishchepromizdat, 1955. – 472 s.
2. Rezervuar dlya termizatsii moloka v usloviyakh pastbishch: patent na izobretenie № 2536968 Ros. Federatsiya: A23S3/02 / V.A. Shilin, O.A. Gerasimova; zayavitel' i patentoobladatel' Velikolukskaya gos. s.-kh. akademiya. – № 2012119777/10; zayavl. 14.05.2012; opubl. 27.12.2014.
3. Reshenie o vydache patenta na poleznuyu model' po zayavke № 2015139163 Rezervuar dlya termizatsii moloka Ros. Federatsiya: A23S3/02 / Shilin V.A., Gerasimova O.A., Chesnokov A.S.; zayavitel' i patentoobladatel' Velikolukskaya gos. s.-kh. akademiya. – № 2015139163; zayavl. 14.09.2015; opubl. 10.10.2016.
4. Tepel A. Khimiya i fizika moloka / perevod s nemetskogo yazyka. S.A. Fil'chakova. – SPb.: Professiya, 2012. – 832 s.
5. Tikhomirov I.A., Tikhomirova G.S. Rekomendatsii po povysheniyu kachestva moloka. – Orel: Izdatel'stvo OGAU, 2009. – 15 s.
6. Kutateladze S.S. Teploperedacha i gidrodinamicheskoe soprotivlenie. – М.: Energoatomizdat, 1990. – 367 s.
7. Gerasimova O.A. Pervichnaya obrabotka moloka na pastbishchnykh kompleksakh // Vestnik Buryatskoy GSKhA. – 2015. – № 3.

