

Описание технологического процесса

Приёмка молока и другого сырья осуществляется по массе и качеству, установленному лабораторией предприятия. Качество молока оценивается в соответствии с ГОСТ 52054 на молоко коровье - сырье.

Сразу же после приёмки молоко подогревают до температуры 35 – 40 С и очищают на центробежных молоко очистителях или другом оборудовании без подогрева. Для очистки сырого молока рекомендуется также использовать бактериофугу со специально встроенным герметичным сепаратором для удаления бактерий из молока. После этого молоко направляют на переработку или охлаждают до температуры 4 С и хранят в резервуарах промежуточного хранения. Хранение молока, охлажденного до температуры 4 С, до переработки не должно превышать 12 ч, охлажденного до температуры 6 С – 6 ч.

Нормализация молочного сырья осуществляется с целью стандартизации состава готового продукта по массовой доле жира и/или сухого обезжиренного молочного остатка (СОМО). Нормализация молока по массовой доле жира может осуществляться двумя способами : периодический способ и непрерывный способ.

После нормализации молоко подогревают до температуры (40 - 5) С и очищают на сепараторах - молоко очистителях. Подогрев идёт в секции рекуперации пластинчатого пастеризатора. Затем молоко вновь подогревается до температуры (60 - 65) С и подается на гомогенизатор, где и гомогенизируется при давлении (10 - 15) Мпа. Гомогенизации рекомендуется подвергать, в том числе маложирные и классические виды молока для улучшения вкуса.

После гомогенизации молоко поступает на пастеризацию в пластинчатую установку и пастеризуется при температуре 76 С с выдержкой 20 - 300 сек. При производстве топленого молока пастеризация проводится при температурах (95-99) С. Затем проводится топление молока.

После пастеризации или топления молоко охлаждают до температуры 4 С. Охлаждение идёт на секции. После этого молоко направляют в резервуар для промежуточного хранения или непосредственно на розлив. Допускается хранить пастеризованное охлажденное молоко до розлива в течение не более 6 ч. И при этой температуре молоко может храниться от 36 ч до 10 суток.

Описание работы установки

Из молокохранильного отделения молоко подается в уравнильный бак 1, который имеет поплавковый регулятор уровня 2. При работе установки постоянный уровень в уравнильном баке поддерживается регулятором, что способствует стабильной

работе центробежного насоса и предотвращает перелив молока из бака. Далее молоко центробежным насосом 3 нагнетается в первую секцию рекуперации I пластинчатого аппарата 5. Между центробежным насосом и пластинчатым аппаратом установлен ротаметрический регулятор 4, который обеспечивает постоянство производительности установки. В первой секции рекуперации молоко нагревается до температуры (37 – 45)°С и поступает в сепаратор-молокоочиститель 6, где происходит его очистка. Установка может иметь один сепаратор-молокоочиститель с центробежной выгрузкой осадка или два сепаратора-молокоочистителя без центробежной выгрузки, работающих поочередно. После очистки молоко, нагреваясь до температуры (65 – 70)°С во второй секции рекуперации II, по внутреннему каналу переходит в секцию пастеризации III, где нагревается до температуры пастеризации (76 – 80)°С. После секции пастеризации молоко выдерживается в выдерживателе 7 и возвращается в аппарат, где предварительно охлаждается в секциях рекуперации I и II и окончательно до конечной температуры – в секциях водяного охлаждения IV и рассольного охлаждения V.

На выходе из аппарата установлен возвратный клапан 15. Он регулирует направление потока пастеризованного охлажденного молока к фасовочным автоматам или в уравнильный бак для повторной пастеризации при нарушении режима пастеризации.

Горячая вода для нагревания молока подается в секцию пастеризации насосом 16. Из этой секции охлажденная вода, после того как она отдаст тепло молоку, возвращается в бачок-аккумулятор 17. Вода нагревается до температуры (78 – 95)°С паром в пароконтактном нагревателе 21.

На выходе пастеризованного молока из секции пастеризации установлен датчик температуры 8, который связан с автоматической системой регулирования температуры пастеризации посредством клапана 19 и возврата молока на повторную пастеризацию посредством клапана 15. Датчик температуры 12 предназначен для контроля температуры охлажденного пастеризованного молока.

Установка снабжена показывающими манометрами для контроля давления молока после сепаратора-молокоочистителя 9, для контроля давления холодной воды 10, для контроля давления рассола 13, для контроля давления греющего пара 20, 22 и 23.

Расчёт

Исходные данные для расчета:

Производительность..... $G_1 = 2,77 \text{ кг/с}$ (10000 кг/ч)

Начальная температура молока..... $t_1 = 4 \text{ }^\circ\text{C}$

Температура пастеризации.....	$t_3 = 75 \text{ }^\circ\text{C}$
Конечная температура молока.....	$t_6 = 4 \text{ }^\circ\text{C}$
Коэффициент рекуперации тепла.....	$\varepsilon = 0,76$
Начальная температура горячей воды.....	$t'_r = 79 \text{ }^\circ\text{C}$
Кратность горячей воды.....	$n_r = 4$
Начальная температура холодной воды.....	$t'_b = 8 \text{ }^\circ\text{C}$
Кратность холодной воды.....	$n_b = 3$
Начальная температура ледяной воды.....	$t'_l = +1 \text{ }^\circ\text{C}$
Кратность ледяной воды.....	$n_l = 4$
Температура молока после секции водяного охлаждения.....	$t_5 = 10 \text{ }^\circ\text{C}$
Общее допустимое гидравлическое сопротивление.....	$\Delta P = 500 \text{ кПа (5 кгс/см}^2\text{)}$
Средняя удельная теплоемкость молока.....	$c_M = 3880 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{}^\circ\text{C)}$
Плотность молока.....	$\rho_M = 1033 \text{ кг/м}^3$
Удельная теплоемкость холодной и горячей воды.....	$c_b = c_r = c_l = 4186 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{}^\circ\text{C)}$

Аппарат намечено изготавливать на базе пластин типа П-2 с горизонтальными гофрами ленточно-поточного вида

Основные данные пластины:

рабочая поверхность	$F_l = 0,21 \text{ м}^2$
рабочая ширина	$b = 0,315 \text{ м}$
приведенная высота	$L_n = 0,800 \text{ м}$
площадь поперечного сечения одного канала	$f_l = 0,00075 \text{ м}^2$
эквивалентный диаметр потока	$d_s = 0,006 \text{ м}$
толщина пластины	$\delta = 0,00125 \text{ м}$
коэффициент теплопроводности материала пластины	$\lambda_{CT} = 16 \text{ Вт/(м}\cdot\text{}^\circ\text{C)}$

Для пластины данного типа действительны уравнения теплоотдачи и потерь энергии:

$$Nu = 0,1 Re^{0,7} Pr^{0,43} (Pr / Pr_{ст})^{0,25}$$

и

$$Eu = 760 Re^{-0,25}; \xi = 11,2 Re^{-0,25}$$

Решение

1. Определение начальных и конечных температур, вычисление температурных напоров и параметров S :

а. Секция рекуперации тепла :

Температура сырого молока в конце секции рекуперации тепла (при входе в

секцию пастеризации) :

$$t_2 = t_1 + (t_3 - t_1) \varepsilon = 4 + (75 - 4) 0,76 = 57,96^\circ\text{C} \approx 58^\circ\text{C}$$

Температура пастеризованного молока после секции рекуперации (при входе в секцию охлаждения водой) :

$$t_4 = t_1 + (t_3 - t_2) = 4 + (75 - 58) = 21^\circ\text{C}$$

Средний температурный напор в секции рекуперации при характерной для нее постоянной разности температур :

$$\overline{\Delta t}_{рек} = t_3 - t_2 = 75 - 58 = 17^\circ\text{C}$$

Тогда симплекс :

$$S_{рек} = \frac{t_2 - t_1}{\Delta t_{рек}} = \frac{58 - 4}{17} = 3,18^\circ\text{C}$$

б. Секция пастеризации :

Температура горячей воды при выходе из секции пастеризации молока из условий баланса тепла :

$$t''_r = t'_r - \frac{c_M}{c_r * n_r} (t_3 - t_2) = 79 - \frac{3880}{4186 * 4} (75 - 58) = 75,06^\circ\text{C}$$

Средний температурный напор при :

$$\Delta t_{\delta} = t''_r - t_2 = 75,06 - 58 = 17,06^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_M = t'_r - t_3 = 79 - 75 = 4^\circ\text{C}$$

определим по формуле :

$$\overline{\Delta t}_n = \frac{\Delta t_{\delta} - \Delta t_M}{2,3 \lg \frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_M}} = \frac{17,06 - 4}{2,3 \lg \frac{17,06}{4}} = 9^\circ\text{C}$$

Тогда:

$$S_n = \frac{t_3 - t_2}{\Delta t_n} = \frac{75 - 58}{9} = 1,9^\circ\text{C}$$

в. Секция охлаждения ледяной водой :

Температура холодной воды, выходящей из водяной секции:

$$t''_b = t'_b + \frac{c_M}{c_B * n_B} (t_4 - t_5) = 8 + \frac{3880}{4186 * 3} (21 - 10) = 11,4^\circ\text{C}$$

Средний температурный напор при:

$$\Delta t_{\delta} = t_4 - t''_b = 21 - 11,4 = 9,6^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_M = t_5 - t'_B = 10 - 8 = 2^\circ\text{C}$$

найдем из уравнения:

$$\overline{\Delta t_B} = \frac{\Delta t_{\bar{\theta}} - \Delta t_M}{2,3 \lg \frac{\Delta t_{\bar{\theta}}}{\Delta t_M}} = \frac{9,6 - 2}{2,3 \lg \frac{9,6}{2}} = 4,85^\circ\text{C}$$

Тогда симплекс :

$$S_n = \frac{t_4 - t_5}{\Delta t_B} = \frac{21 - 10}{4,85} = 2,87^\circ\text{C}$$

г. Секция охлаждения ледяной водой:

Температура ледяной воды на выходе из аппарата:

$$t''_л = t'_л + \frac{c_M}{c_л * n_л} (t_5 - t_6) = 1 + \frac{3880}{4186 * 4} (10 - 4) = 2,4^\circ\text{C}$$

Средний температурный напор для секции охлаждения ледяной водой при:

$$\Delta t_{\bar{\theta}} = t_5 - t''_л = 10 - 2,4 = 7,6^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_M = t_6 - t'_л = 4 - 1 = 3^\circ\text{C}$$

определим по формуле:

$$\overline{\Delta t_л} = \frac{\Delta t_{\bar{\theta}} - \Delta t_M}{2,3 \lg \frac{\Delta t_{\bar{\theta}}}{\Delta t_M}} = \frac{7,6 - 3}{2,3 \lg \frac{7,6}{3}} = 5,0^\circ\text{C}$$

Тогда симплекс:

$$S_л = \frac{t_5 - t_6}{\Delta t_л} = \frac{10 - 4}{5,0} = 1,2^\circ\text{C}$$

2. Отношение рабочих поверхностей и допустимые гидравлические сопротивления по секциям:

Выбираем ориентировочно следующие значения коэффициентов теплопередачи по секциям (в Вт/(м²·°C)) :

- секция рекуперации $k_{рек} = 2900$
- секция пастеризации $k_n = 2900$
- секция водяного охлаждения $k_B = 2320$
- секция охлаждения ледяной водой $k_л = 2100$

Отношение рабочих поверхностей секции составляет

$$F_{рек} : F_n : F_B : F_л = \frac{S_{рек}}{k_{рек}} : \frac{S_n}{k_n} : \frac{S_B}{k_B} : \frac{S_л}{k_л} =$$

$$= \frac{3,18}{2900} : \frac{1,9}{2900} : \frac{2,27}{2320} : \frac{1,2}{2100}$$

Принимая меньшее из этих отношений за единицу, можем написать

$$F_{\text{рек}} : F_{\text{п}} : F_{\text{в}} : F_{\text{л}} = 1,92 : 1,15 : 1,71 : 1$$

Принимая распределение допустимых гидравлических сопротивлений соответствующим распределению рабочих поверхностей и допуская небольшое округление, получим $\Delta P_{\text{рек}} : \Delta P_{\text{п}} : \Delta P_{\text{в}} : \Delta P_{\text{л}} = 1,92 : 1,15 : 1,71 : 1$

Так как общее допустимое гидравлическое сопротивление согласно заданию $\Delta P = 5 \cdot 10^5$ Па, то, можем написать :

$$\Delta P_{\text{рек}} + \Delta P_{\text{п}} + \Delta P_{\text{в}} + \Delta P_{\text{л}} = 5 \cdot 10^5 \text{ Па}$$

Так как отношение сопротивлений уже известно, то в соответствии с ним распределим сопротивления по секциям следующим образом :

$$\Delta P_{\text{рек}} = 166\,000 \text{ Па}$$

$$\Delta P_{\text{п}} = 99\,500 \text{ Па}$$

$$\Delta P_{\text{в}} = 148\,000 \text{ Па}$$

$$\Delta P_{\text{л}} = 86\,500 \text{ Па}$$

3. Определение максимально допустимых скоростей продукта в межпластинных каналах по секциям:

Для условий работы данного аппарата целесообразно определить лишь максимально допустимые скорости в секциях для движения продукта. Гидравлические сопротивления по стороне движения рабочих сред малы, так как мала длина соответствующих трактов.

Это позволяет выбрать скорости рабочих сред из условий соблюдения приемлемой кратности по отношению к молоку, причем при наличии условий, циркуляции и повторного использования можно выбирать большие значения.

Предварительно задаемся вспомогательными величинами: ожидаемый коэффициент теплоотдачи молока ориентировочно — $\alpha_{\text{м}} = 5000 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$.

Средняя температура стенки :

в секции рекуперации

$$t_{\text{ст.р}} = \frac{t_1 + t_2 + t''_{\Gamma} + t_4}{4} = \frac{4 + 58 + 75,06 + 21}{4} \approx 39,5^\circ\text{C}$$

в секции пастеризации

$$t_{\text{ст.п}} = \frac{t_2 + t_3 + t'_{\Gamma} + t''_{\Gamma}}{4} = \frac{58 + 75 + 79 + 75,06}{4} \approx 71,8^\circ\text{C}$$

в секции водяного охлаждения

$$\bar{t}_{CT.B} = \frac{t_4 + t_5 + t'_B + t''_B}{4} = \frac{21 + 10 + 8 + 11,4}{4} \approx 12,6^\circ C$$

в секции охлаждения ледяной водой

$$\bar{t}_{CT.L} = \frac{t_5 + t_6 + t'_L + t''_L}{4} = \frac{10 + 4 + 1 + 2,4}{4} \approx 4,3^\circ C$$

Коэффициент общего гидравлического сопротивления:

в секции рекуперации $\xi_p = 1,6$

в секции пастеризации $\xi_n = 1,4$

в секции водяного охлаждения $\xi_B = 1,95$

в секции охлаждения ледяной водой $\xi_L = 2,2$

Используя эти данные, определим максимально допустимые скорости движения молока:

а) в секции рекуперации

$$\omega_p = 2\sqrt[3]{\frac{\alpha_M \left(\bar{t}_{CT.P} - \frac{t_1 + t_2}{2} \right) \Delta P_p}{c_M (t_2 - t_1) * \rho_M^2 * \xi_p}} = 2\sqrt[3]{\frac{5000 * \left(39,5 - \frac{4 + 58}{2} \right) * 166000}{3880(58 - 4) * 1033^2 * 1,6}} = 0,56 м/с$$

б) в секции пастеризации

$$\omega_n = 2\sqrt[3]{\frac{\alpha_M \left(\bar{t}_{CT.П} - \frac{t_2 + t_3}{2} \right) \Delta P_n}{c_M (t_3 - t_2) * \rho_M^2 * \xi_n}} = 2\sqrt[3]{\frac{5000 * \left(71,8 - \frac{58 + 75}{2} \right) * 99500}{3880(75 - 58) * 1033^2 * 1,4}} = 0,6 м/с$$

в) в секции водяного охлаждения

$$\omega_B = 2\sqrt[3]{\frac{\alpha_M \left(\frac{t_4 + t_5}{2} - \bar{t}_{CT.B} \right) \Delta P_B}{c_M (t_4 - t_5) * \rho_M^2 * \xi_B}} = 2\sqrt[3]{\frac{5000 * \left(\frac{21 + 10}{2} - 12,6 \right) * 148000}{3880(21 - 10) * 1033^2 * 1,95}} = 0,58 м/с$$

г) в секции охлаждения ледяной водой

$$\omega_L = 2\sqrt[3]{\frac{\alpha_M \left(\frac{t_5 + t_6}{2} - \bar{t}_{CT.L} \right) \Delta P_L}{c_M (t_5 - t_6) * \rho_M^2 * \xi_L}} = 2\sqrt[3]{\frac{5000 * \left(\frac{10 + 4}{2} - 4,3 \right) * 86500}{3880(10 - 4) * 1033^2 * 2,2}} = 0,56 м/с$$

Полученные значения скорости для секций почти совпадают между собой. Наличие значительной разницы свидетельствовало бы об ошибке в вычислении или

неправильном распределении допустимых гидравлических сопротивлений.

Объемная производительность аппарата :

$$V = \frac{G}{\rho} = \frac{2,77}{1033} = 0,0027 \text{ м}^3 / \text{ч}$$

Определяем число каналов в пакете, приняв $\omega_M = 0,57 \text{ м/с}$:

$$m = \frac{V}{f_1 * \omega_M} = \frac{0,0027}{0,00075 * 0,57} = 6,27$$

Так как число каналов в пакете не может быть дробным, округляем до $m = 6$

Уточняем в связи с этим величину скорости потока молока :

$$\omega_M = 0,57 * \frac{6,27}{6} = 0,59 \text{ м/с}$$

Скорость холодной воды принимаем равной скорости молока :

$$\omega_B = \omega_M = 0,59 \text{ м/с}$$

Скорость циркулирующей горячей воды и ледяной воды принимаем :

$$\omega_G = \omega_L = 2\omega_M = 1,18 \text{ м/с}$$

4. Средняя температура, число Pr , вязкость и теплопроводность продукта и рабочих жидкостей :

Число Pr , кинематическую вязкость ν и теплопроводность продукта и рабочих жидкостей определяем при средних температурах жидкостей, пользуясь справочными данными.

а. Секция рекуперации тепла :

Средняя температура сырого молока (сторона нагревания) :

$$t_{cp} = \frac{t_1 + t_2}{2} = \frac{4 + 58}{2} = 31^\circ\text{C}$$

Для молока при этой температуре

$$Pr = 9,6 ; \lambda_M = 0,524 \text{ Вт/(м.}^\circ\text{C)}$$

$$\nu = 1,27 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Средняя температура пастеризованного молока (сторона охлаждения) :

$$t_{cp} = \frac{t_3 + t_4}{2} = \frac{75 + 21}{2} = 48^\circ\text{C}$$

Этой температуре молока соответствуют

$$Pr = 5,7 ; \lambda_M = 0,575 \text{ Вт/(м.}^\circ\text{C)}$$

$$\nu = 0,87 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

б. Секция пастеризации :

Средняя температура горячей воды (сторона охлаждения) :

$$t_{cp} = \frac{t'_{Г} + t''_{Г}}{2} = \frac{79 + 75,06}{2} = 77,03^{\circ}C$$

$$Pr = 2,30 ; \lambda_{м} = 0,671 \text{ Вт/(м} \cdot ^{\circ}C)$$

$$\nu = 0,38 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Средняя температура молока (сторона нагревания)

$$t_{cp} = 77,03 - \overline{\Delta t_n} = 77,03 - 9 = 68,03^{\circ}C$$

Этой температуре молока соответствуют

$$Pr = 4,0 ; \lambda_{м} = 0,611 \text{ Вт/(м} \cdot ^{\circ}C)$$

$$\nu = 0,63 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

в. Секция охлаждения молока водой :

Средняя температура холодной воды (сторона нагревания)

$$t_{cp} = \frac{t'_{В} + t''_{В}}{2} = \frac{8 + 11,4}{2} = 9,7^{\circ}C$$

Этой температуре воды соответствуют

$$Pr = 9,7 ; \lambda_{м} = 0,572 \text{ Вт/(м} \cdot ^{\circ}C)$$

$$\nu = 1,32 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Средняя температура молока (сторона охлаждения)

$$t_{cp} = 9,7 + \overline{\Delta t_B} = 9,7 + 4,85 = 14,55^{\circ}C$$

Этой температуре молока соответствуют

$$Pr = 17,4 ; \lambda_{м} = 0,476 \text{ Вт/(м} \cdot ^{\circ}C)$$

$$\nu = 2,07 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

г. Секция охлаждения молока ледяной водой :

Средняя температура ледяной воды (сторона нагревания)

$$t_{cp} = \frac{t'_{Л} + t''_{Л}}{2} = \frac{1 + 2,4}{2} = 1,7^{\circ}C$$

Этой температуре воды соответствуют

$$Pr = 12,9 ; \lambda_{м} = 0,557 \text{ Вт/(м} \cdot ^{\circ}C)$$

$$\nu = 1,8 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

Средняя температура молока (сторона охлаждения)

$$t_{cp} = \frac{t_5 + t_6}{2} = \frac{10 + 4}{2} = 7^{\circ}C$$

Этой температуре молока соответствуют

$$Pr = 24,0 ; \lambda_{м} = 0,455 \text{ Вт/(м} \cdot ^{\circ}C)$$

$$\nu = 2,6 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

5. Вычисление числа Рейнольдса:

Число Рейнольдса вычисляем по вязкости при средних температурах жидкостей в каждой секции

$$\text{Re} = \frac{\omega * d_{\text{э}}}{\nu}$$

а. Секция рекуперации тепла :

Для холодного молока :

$$\text{Re} = \frac{0,54 * 0,006 * 10^6}{1,27} = 2551$$

Для горячего молока;

$$\text{Re} = \frac{0,54 * 0,006 * 10^6}{0,87} = 3724$$

б. Секция пастеризации:

Для молока:

$$\text{Re} = \frac{0,54 * 0,006 * 10^6}{0,63} = 5143$$

Для горячей воды:

$$\text{Re} = \frac{1,08 * 0,006 * 10^6}{0,38} = 17053$$

в. Секция охлаждения молока водой :

Для молока:

$$\text{Re} = \frac{0,54 * 0,006 * 10^6}{2,07} = 1565$$

Для воды:

$$\text{Re} = \frac{0,54 * 0,006 * 10^6}{1,32} = 2455$$

г. Секция охлаждения молока ледяной водой :

Для молока:

$$\text{Re} = \frac{0,54 * 0,006 * 10^6}{2,6} = 1246$$

Для ледяной воды:

$$Re = \frac{1,08 * 0,006 * 10^6}{1,8} = 3600$$

6. Определение коэффициента теплопередачи:

Для определения коэффициентов теплоотдачи α_1 и α_2 пользуемся формула для пластин типа FUNKE:

$$Nu = 0,1 Re^{0,7} Pr^{0,43} (Pr / Pr_{ст})^{0,25}$$

$$\text{или } \alpha = \frac{\lambda}{d_{\text{э}}} * 0,1 Re^{0,7} * Pr^{0,43} (Pr / Pr_{ст})^{0,25}$$

Отношение $(Pr / Pr_{ст})^{0,25}$ может быть принято в среднем для всех секций:

по стороне нагревания 1,05

по стороне охлаждения 0,95

а. Секция рекуперации тепла :

Для стороны нагревания сырого молока:

$$\alpha_2 = \frac{0,524}{0,006} * 0,1 * 2551^{0,7} * 9,6^{0,43} * 1,05 = 5881 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$$

Для стороны охлаждения пастеризованного молока :

$$\alpha_1 = \frac{0,575}{0,006} * 0,1 * 3724^{0,7} * 5,7^{0,43} * 0,95 = 6081 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$$

Коэффициент теплопередачи с учетом термического сопротивления стенки толщиной 1,25 мм:

$$k_{рек} = \frac{1}{\frac{1}{6081} + \frac{0,00125}{16} + \frac{1}{5881}} = 2424 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$$

б. Секция пастеризации :

Для стороны нагревания молока :

$$\alpha_2 = \frac{0,611}{0,006} * 0,1 * 5143^{0,7} * 4,0^{0,43} * 1,05 = 7688 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$$

Для стороны охлаждения горячей воды :

$$\alpha_1 = \frac{0,671}{0,006} * 0,1 * 17053^{0,7} * 2,3^{0,43} * 0,95 = 13935 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$$

Коэффициент теплопередачи :

$$k_{рек} = \frac{1}{\frac{1}{13935} + \frac{0,00125}{16} + \frac{1}{7688}} = 3572 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$$

С учетом постепенного отложения пригара уменьшаем эту величину при расчете до $k_n = 2800 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$, чтобы обеспечить устойчивую работу пастеризатора.

в. Секция охлаждения молока водой :

Для стороны нагревания воды:

$$\alpha_2 = \frac{0,572}{0,006} * 0,1 * 2455^{0,7} * 9,7^{0,43} * 1,05 = 6277 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$$

Для стороны охлаждения молока :

$$\alpha_1 = \frac{0,476}{0,006} * 0,1 * 1565^{0,7} * 17,4^{0,43} * 0,95 = 4434 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$$

Коэффициент теплопередачи :

$$k_{рек} = \frac{1}{\frac{1}{4434} + \frac{0,00125}{16} + \frac{1}{6277}} = 2160 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$$

г. Секция охлаждения молока ледяной водой :

Для стороны нагревания воды:

$$\alpha_2 = \frac{0,557}{0,006} * 0,1 * 3600^{0,7} * 12,9^{0,43} * 1,05 = 9034 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$$

Для стороны охлаждения молока:

$$\alpha_1 = \frac{0,455}{0,006} * 0,1 * 1246^{0,7} * 24^{0,43} * 0,95 = 4149 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$$

Коэффициент теплопередачи:

$$k_{рек} = \frac{1}{\frac{1}{4149} + \frac{0,00125}{16} + \frac{1}{9034}} = 2326 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$$

7. Расчет рабочих поверхностей секции числа пластин и числа пакетов:

а . Секция рекуперации тепла:

Рабочая поверхность секции:

$$F_{\delta \hat{a} \hat{e}} = \frac{G * c_{\hat{l}} (t_2 - t_1)}{k_{\delta \hat{a} \hat{e}} * \Delta t_{\delta \hat{a} \hat{e}}} = \frac{2,77 * 3880(58 - 4)}{2424 * 17} = 14,1 \hat{i}^2$$

Число пластин в секции:

$$n_{\delta\dot{a}\dot{e}} = \frac{F_{\delta\dot{a}\dot{e}}}{F_1} = \frac{14,1}{0,21} = 67,14$$

Число пакетов X определяем, зная число каналов в пакетах $m = 8$ получено выше):

$$X_{\delta\dot{a}\dot{e}} = \frac{n_{\delta\dot{a}\dot{e}}}{2m} = \frac{67,14}{2 * 6} = 5,6$$

Принимаем $X_{рек} = 6$ пакетов

б. Секция пастеризации молока:

Рабочая поверхность секции равна:

$$F_{\dot{I}} = \frac{G * c_{\dot{I}} (t_3 - t_2)}{k_{\dot{I}} * \Delta t_{\dot{I}}} = \frac{2,77 * 3880(75 - 58)}{2800 * 9} = 7,2 \text{ м}^2$$

Число пластин в секции:

$$n_{\dot{I}} = \frac{F_{\dot{I}}}{F_1} = \frac{7,2}{0,21} = 34,5$$

Число пакетов в секции на стороне молока :

$$X_{\dot{I}} = \frac{n_{\dot{I}}}{2m} = \frac{34,5}{2 * 6} = 2,9$$

Принимаем $X_{п} = 3$ пакета.

в. Секция охлаждения молока водой :

Рабочая поверхность секции :

$$F_{\hat{A}} = \frac{G * c_{\hat{A}} (t_4 - t_5)}{k_{\hat{A}} * \Delta t_{\hat{A}}} = \frac{2,77 * 3880(21 - 10)}{2160 * 4,85} = 11,28 \text{ м}^2$$

Число пластин в секции :

$$n_B = \frac{F_B}{F_1} = \frac{11,28}{0,21} = 53,7$$

Число пакетов в секции :

$$X_B = \frac{n_B}{2m} = \frac{53,7}{2 * 6} = 4,5$$

Если число пакетов в результате расчета оказывается дробным, то следует решить вопрос или об увеличении числа пакетов до ближайшего большего числа, или об уменьшении числа каналов в пакетах данной секции.

При уменьшении числа каналов скорость потока увеличится, что следует учесть при определении потребного напора. На теплопередаче уменьшение числа каналов скажется незначительно в сторону увеличения и его можно не учитывать.

В нашем случае сохраним компоновку пакетов и округлим полученное значение до

$X_6 = 5$ пакета.

Небольшой запас рабочей поверхности, полученный вследствие округления числа пакетов до ближайшего большего числа, компенсирует снижение среднего температурного напора при смешанном потоке.

2. Секция охлаждения молока ледяной водой:

Рабочая поверхность секции:

$$F_{\dot{E}} = \frac{G * c_{\dot{l}} (t_5 - t_6)}{k_{\dot{E}} * \Delta t_{\dot{E}}} = \frac{2,77 * 3880(10 - 4)}{2326 * 5} = 5,5 \text{ м}^2$$

Число пластин в секции:

$$n_{\dot{E}} = \frac{F_{\dot{E}}}{F_1} = \frac{5,5}{0,21} = 26,4$$

Число пакетов будет равно :

$$X_{\dot{E}} = \frac{n_{\dot{E}}}{2m} = \frac{26,4}{2 * 6} = 2,2$$

Принимаем $X_n = 2$ пакета.

Зная для всех секций значения X и m , принимаем следующую компоновку секций аппарата:

секция рекуперации $\frac{6 + 6 + 6 + 6 + 6 + 6}{36}$

секция пастеризации $\frac{6 + 6 + 6}{18}$

секция охлаждения водой $\frac{6 + 6 + 6 + 6 + 6}{30}$

секция охлаждения ледяной водой $\frac{6 + 6}{12}$

8. Контрольный расчет общего гидравлического сопротивления аппарата:

Так как приведенный расчет пластинчатого аппарата включает определение на начальной стадии наибольшей скорости продукта по допустимому гидравлическому сопротивлению, то общее гидравлическое сопротивление аппарата должно быть близким по величине к принятому допустимому значению.

Отклонения могут быть лишь в результате того, что в расчете были допущены усреднения некоторых параметров и округлены число каналов и число пакетов в ту или другую сторону.

Для проверки этого отклонения и соответствия фактического гидравлического

сопротивления допустимому в заключение следует сделать контрольный расчет общих гидравлических сопротивлений по тракту движения продукта. Кроме того, необходимо вычислить гидравлические сопротивления для рабочих жидкостей.

Гидравлическое сопротивление для каждой секции определяют по формуле

$$\Delta P = \xi * \frac{L_n}{d_{\dot{y}}} * \frac{\rho * \omega^2}{2} * X$$

Сделаем такой расчет для всех секций, учитывая, что для принятого типа пластин коэффициент сопротивления единицы относительной длины канала определяется:

$$\xi = 11,2 \text{ Re}^{-0,25}$$

а. Секция рекуперации тепла : (X = 6)

Для потока холодного нагреваемого молока при $\text{Re}'_{рек} = 2551$:

$$\xi'_{рек} = 11,2 * 2551^{-0,25} = 1,576$$

Гидравлическое сопротивление секции рекуперации на стороне холодного молока:

$$\Delta P'_{\delta\dot{a}\dot{e}} = \xi'_{\delta\dot{a}\dot{e}} * \frac{L_n}{d_{\dot{y}}} * \frac{\rho * \omega^2}{2} * X = 1,576 * \frac{0,8}{0,006} * \frac{1025 * 0,59^2}{2} * 6 = 157,016 \text{ Па}$$

Для потока горячего охлаждаемого молока при $\text{Re}''_{рек} = 3724$

$$\xi''_{рек} = 11,2 * 3724^{-0,25} = 1,434$$

Гидравлическое сопротивление секции рекуперации на стороне горячего молока:

$$\Delta P''_{\delta\dot{a}\dot{e}} = \xi''_{\delta\dot{a}\dot{e}} * \frac{L_n}{d_{\dot{y}}} * \frac{\rho * \omega^2}{2} * X = 1,434 * \frac{0,8}{0,006} * \frac{1017 * 0,59^2}{2} * 6 = 141,36 \text{ Па}$$

б. Секция пастеризации молока : (X = 3)

Для потока пастеризуемого молока при $\text{Re}_п = 5143$ находим :

$$\xi_{II} = 11,2 * 5143^{-0,25} = 1,32$$

Сопротивление секции

$$\Delta P_{\dot{y}} = 1,32 * \frac{0,8}{0,006} * \frac{1007 * 0,59^2}{2} * 3 = 51,68 \text{ Па}$$

в. Секция охлаждения молока водой: (X = 5)

Для потока охлаждаемого молока при $\text{Re}_в = 1565$ получим:

$$\xi_B = 11,2 * 1565^{-0,25} = 1,78$$

Сопротивление секции составит :

$$\Delta P_B = 1,78 * \frac{0,8}{0,006} * \frac{1031 * 0,59^2}{2} * 5 = 142,7 \text{êĀ}$$

г. Секция охлаждения молока ледяной водой : (X = 2)

Для потока молока при $Re_{л} = 1246$ получим :

$$\xi_{л} = 11,2 * 1246^{-0,25} = 1,9$$

Сопротивление секции будет равно :

$$\Delta P_{\dot{E}} = 1,9 * \frac{0,8}{0,006} * \frac{1032 * 0,59^2}{2} * 2 = 76,24 \text{êĀ}$$

Общее гидравлическое сопротивление аппарата по линии движения молока составит :

$$\begin{aligned} \Delta P &= \Delta P'_{рек} + \Delta P''_{рек} + \Delta P_{\Pi} + \Delta P_B + \Delta P_{л} = \\ &= 157,016 + 141,36 + 51,68 + 142,7 + 76,24 = 568,996 \text{кПа} \approx 0,57 \text{Па} \end{aligned}$$

Расчет показывает, что распределение сопротивлений по секциям несколько отличается от полученного предварительно в первом приближении, однако общее сопротивление близко к исходному допустимому гидравлическому сопротивлению 0,5 МПа.