

12. Расчет параметров оборудования для охлаждения молока

Молоко охлаждают непосредственно на местах его производства с целью увеличения времени сохранения качественных показателей. Не охлажденное свежевыдоенное молоко не хранится более 1,5–2 часов, что обусловлено так называемой «бактерицидной фазой молока». По истечении этого времени кислотность молока резко повышается, вызывая его порчу.

В соответствии с действующим ГОСТом охлажденным считается молоко, имеющее температуру в момент сдачи не более 8 °С.

В качестве источников холода для охлаждения молока используют искусственный холод или естественные источники (холодную воду, снег, лед).

Выбор технологического оборудования зависит от многих факторов, основными из которых являются объем обрабатываемого молока и способ охлаждения. Имеют место два наиболее распространенных способа охлаждения молока: в потоке с использованием пластинчатых или трубчатых охладителей и в резервуарах с использованием танков-охладителей или резервуаров-охладителей.

В доильно-молочных линиях наибольшее распространение получили **пластинчатые охладители**. Эксплуатация этих охладителей особенно удобна при наличии циркуляционной системы промывки молочной линии, позволяющей обходиться без ежедневной разборки и чистки аппарата.

По сравнению с погружными, оросительными, спиральными, резервуарными и другими теплообменниками пластинчатые аппараты имеют следующие преимущества:

- высокую эффективность процесса теплообмена;
- малый рабочий объем аппарата, что способствует быстрой реакции приборов автоматики на изменения условий процесса и, следовательно, обеспечивает быстрое и точное управление процессом;
- минимальные тепловые потери (тепловая изоляция не требуется);
- технологичность конструкции основных рабочих частей аппаратов, что создает условия для массового их изготовления

- возможность оперировать разнообразными компоновками теплообменных пластин, что позволяет в каждом конкретном случае подобрать наиболее оптимальное их сочетание, соответствующее условиям технологического процесса;
- легкость и быстроту монтажа, разборки и сборки, доступность рабочих поверхностей для осмотра и чистки, что особенно выгодно для производства, где требуется многократная чистка поверхности теплообмена;
- возможность безразборной мойки аппарата.

Определяющей особенностью пластинчатого охладителя является конструкция его теплопередающей стенки или теплообменной пластины. Формы теплообменных пластин и профили их поверхностей достаточно разнообразны.

Наибольшее распространение получили пластины ленточно-поточного и сетчато-поточного типов. Первый тип характеризуется тем, что создается поток жидкости между пластинами, который по форме подобен волнистой гофрированной ленте (рис. 11.17, а).

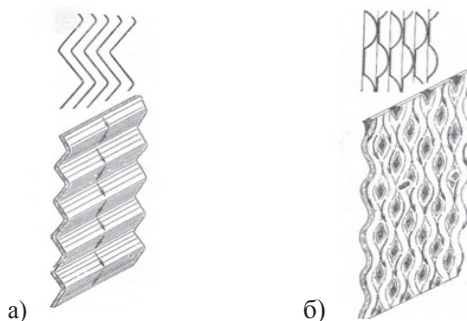


Рисунок 11.17 – Конструкция пластин и схема движения потока жидкости между ними:

а – ленточно-поточного типа; *б* – сетчато-поточного типа

При использовании пластин второго типа происходит разветвление потока жидкости на смыкающиеся и расходящиеся струи (рис.11.17,б). Это связано с огибанием потоком опорных точек, образуемых взаимным пересечением наклонных гофр и расположенных по ширине канала подобно сетке.

Пластины сетчато-поточного типа обладают более высокими теплотехническими показателями.

Молоко поступает в аппарат через патрубок 1 (рис. 11.18,б) и через угловое отверстие в крайней пластине попадает в продольный канал 2 аппарата, образованный угловыми отверстиями пластин при их сжатии. По этому каналу оно движется до граничной пластины, имеющей глухой угол (без отверстия).

Из продольного канала молоко распределяется по нечетным зазорам между пластинами благодаря соответствующему расположению кольцевых прокладок в углах пластин. При движении в межпластинных зазорах оно обтекает рифленные поверхности пластин, которые с обратной стороны охлаждаются водой. Вверху молоко поступает в верхний продольный канал 3, распределяется по зазорам между пластинами второго пакета и через нижний продольный канал и патрубок 4 отводится из аппарата.

Вода подается в аппарат через патрубок 5, проходит по нижнему продольному каналу 6 до граничной пластины и распределяется по четным зазорам между пластинами. Затем она поступает в верхний продольный канал, распределяется по зазорам между пластинами второго пакета и через нижний продольный канал 7 и патрубок 8 выводится из аппарата.

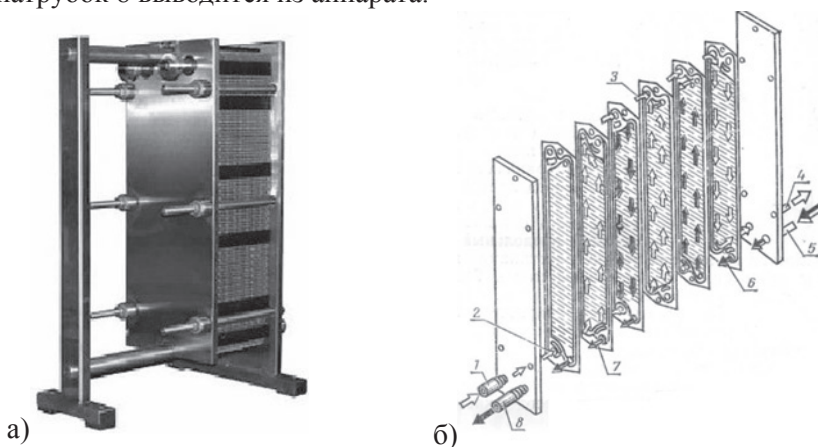


Рисунок 11.18 – Общий вид (а) и схема движения теплообменивающихся сред в пластинчатом охладителе (б):
 1 – патрубки для подвода и отвода молока; 2 и 3 – соответственно нижний и верхний продольные каналы движения молока;
 4, 5 – патрубки для подвода и отвода хладоносителя;
 6, 7 – нижние продольные каналы движения хладоносителя

Наиболее распространенными металлами для изготовления теплообменных пластин и деталей, соприкасающихся с молоком, являются никелесодержащая нержавеющая сталь и титан.

Для эффективного охлаждения молока необходимо иметь достаточное количество хладоносителя на единицу молока и условия, обеспечивающие наивысшую теплопередачу.

На величину теплопередачи влияют следующие основные факторы:

- размер теплообменной поверхности;
- средняя разность температур между молоком и хладоносителем;
- скорость движения теплообменивающихся сред;
- теплопроводность и форма теплообменной поверхности;
- свойства охлаждаемой жидкости и хладоносителя.

Средняя разность температур между молоком и хладоносителем зависит от направления их потоков, которые могут быть прямоточными (прямоток) и противоточными (противоток).

Температурные графики показаны на рисунке 11.19.

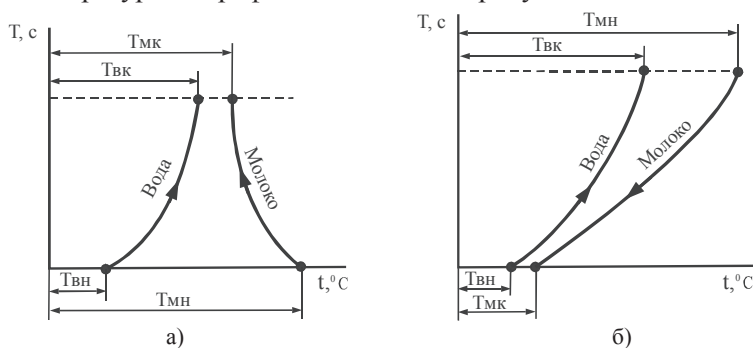


Рисунок 11.19 – Графики изменения температуры при:
а – прямотоке; *б* – противотоке.

При прямотоке температура молока не может быть ниже температуры выходящего из охладителя хладоносителя, за счет чего эффективность такого способа весьма низкая.

При противотоке температура охлаждаемого молока несколько выше температуры входящего хладоносителя, но всегда значительно ниже температуры хладоносителя на выходе из аппарата. Поэтому эффективность теплообмена при противоточном способе охлаждения значительно выше в сравнении с прямотокком.

Рабочая поверхность охладителя молока определяется по формуле:

$$F = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_{CP}},$$

где Q – количество теплоты, отдаваемого молоком, Bm ;

K – коэффициент теплопередачи, $Bm/m^2 \cdot ^\circ C$;

Δt_{CP} – средняя логарифмическая разность температур между молоком и хладоносителем, $^\circ C$.

Величина Δt_{CP} определяется как:

$$\Delta t_{CP} = \frac{\Delta t_{max} - \Delta t_{min}}{2.3 \lg \frac{\Delta t_{max}}{\Delta t_{min}}},$$

где Δt_{max} и Δt_{min} – соответственно, максимальная и минимальная разности температур между молоком и хладоносителем.

Количество теплоты (тепловой поток, тепловая мощность) (Bm), отдаваемой молоком хладоносителю, определяется по формуле:

$$Q = M \cdot C(t_{MH} - t_{MK}),$$

где M – массовый расход молока, $кг/с$;

C – удельная теплоемкость молока, $Дж/кг \cdot ^\circ C$;

t_{MH} и t_{MK} – начальная и конечная температуры молока, $^\circ C$.

Резервуары-охладители предназначены для сбора, охлаждения и хранения молока и выпускаются в открытом герметичном исполнении. Классификация резервуаров-охладителей представлена на рисунке 11.20.



Рисунок 11.20 – Классификация резервуаров-охладителей

Охлаждение молока в резервуарах-охладителях (танках) осуществляется двумя способами:

- а) непосредственно кипящим хладагентом (рис. 11.21,а);
- б) посредством промежуточного хладоносителя, т. е. воды от холодильной установки (рис. 11.21,б).

В первом случае хладагент холодильной машины для своего кипения отнимает теплоту непосредственно от молока, во втором – от воды, превращая ее в лед (ледяную воду).

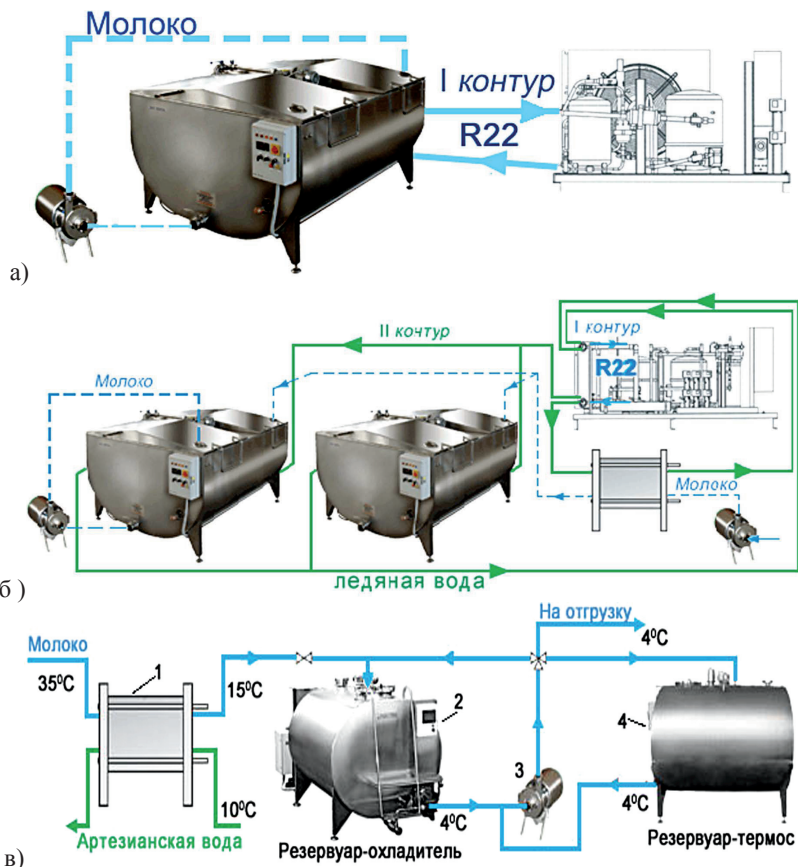


Рисунок 11.21 – Схемы охлаждения молока в резервуарах:
 а – с непосредственным охлаждением; б – с промежуточным хладоносителем; в – комбинированное охлаждение

При применении комбинированной схемы охлаждения (рис. 11.21,в), молоко предварительно охлаждается до температуры 10–15 °С в пластинчатом охладителе артезианской водой, а затем доохлаждается в резервуаре-охладителе. Это позволяет использовать холодильный агрегат пониженной мощности и снизить затраты электроэнергии по сравнению с другими схемами при охлаждении одного и того же объема молока. Перед второй дойкой молоко перекачивается в резервуар-термос, где и хранится до отправки. Исключение смешивания молока разных доек положительно сказывается на его качественных показателях.

По энергетическим показателям второй способ охлаждения уступает первому и характеризуется пониженным коэффициентом полезного действия холодильного агрегата. Это объясняется тем, что для аккумуляции льда требуется более низкая температура кипения хладагента. Снижение температуры кипения хладагента на 1°С уменьшает холодопроизводительность компрессоров в среднем на 3 %. Однако данный способ делает возможным использование естественного холода в зимние месяцы года, что способствует снижению энергозатрат на данный процесс.

Резервуары с непосредственным охлаждением молока выпускают как со встроенным охладителем (испарителем), так и с погружным.

По исполнению резервуары со встроенным испарителем могут иметь автономную и встроенную холодильную установку. Резервуары емкостью до 1000 дм³, как правило, имеют встроенный холодильный агрегат, а большей емкости – автономный.

В настоящее время имеется большой типоразмерный ряд резервуаров-охладителей как отечественного (рис. 11.22), так и зарубежного производства (рис. 11.23).

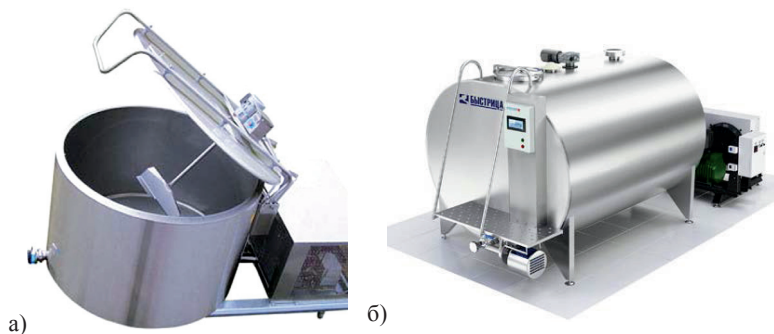


Рисунок 11.22 – Общий вид резервуаров-охладителей серии РО:
а – открытого типа; *б* – закрытого типа



Рисунок 11.23 – Резервуары-охладители производства фирм «Westfalia Surge» и «DeLaval»

Для личных подсобных и фермерских хозяйств выпускаются закрытые резервуары-охладители вместимостью от 100 до 1000 дм^3 (рис. 11.24)

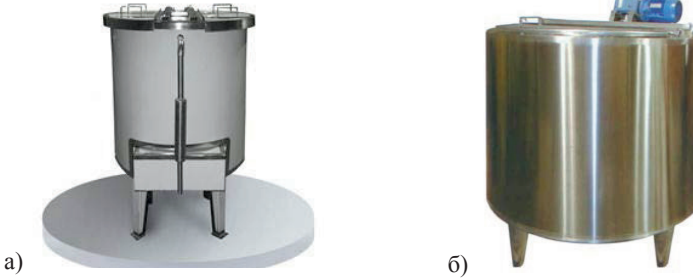


Рисунок 11.24 – Резервуары-охладители вместимостью 200 дм^3 (а) и 500 дм^3 (б)

С целью увеличения коэффициента теплопередачи и исключения отстоя молока резервуары-охладители оборудуют перемешивающими устройствами, наибольшее применение из которых получили лопастные мешалки (рис. 11.25).

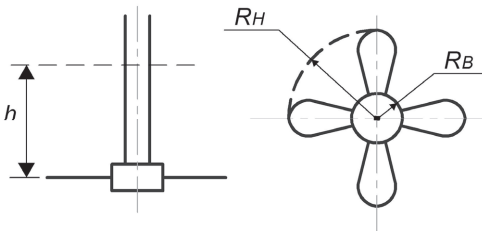


Рисунок 11.25 –
К расчету мощности на привод лопастной мешалки

Выбор двигателя производят по величине пусковой мощности (кВт):

$$N_{\text{пуск}} = 0,052 \rho_m \cdot h \cdot Z \cdot n^3 (R_H^4 - R_B^4),$$

где ρ_m – плотность молока, кг/м³;

h – глубина погружения мешалки, м;

Z – число лопастей;

n – частота вращения мешалки, с⁻¹;

R_H, R_B – наружный и внутренний радиусы лопастей, м.