

УДК 637.131.2

К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ХОЛОДИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Китун А.В.¹, д.т.н.,

Бондарев С.Н.¹, аспирант;

Передня В.И.², д.т.н.,

¹Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск, Республика Беларусь.

²Республиканское унитарное предприятие «Научно-практический центр Национальной академии наук по механизации сельского хозяйства», г. Минск, Республика Беларусь.

Постановка проблемы. Основы качества молочной продукции закладывается еще при его производстве на молочно-товарной ферме. Из-за специфики производства молоко неизбежно получает в процессе производства некоторую бактериальную обсемененность, которая негативно сказывается на его качестве. Для недопущения увеличения бактериальной обсемененности молока и сохранения его качества на молочно-товарных фермах происходит охлаждение свежесвыдоенного молока [1].

Основные материалы исследования. В Республике Беларусь охлаждение молока происходит в холодильных установках, оборудованных термоизолированной ванной с водяной рубашкой и системой непрерывного испарения хладагента. При подборе такой холодильной машины одним из важных параметров является производительность холодильной установки (танка-охладителя). Для охлаждения и временного хранения молока на молочно-товарных фермах все большее применение находят танки-охладители молока вместимостью 1200, 1600 и 2000 л, которые оснащены автономными холодильными агрегатами.

В танках-охладителях холод расходуется [2]:

- на теплопередачу Q_1 через внешние ограждения камеры (стены, пол, потолок);

- поддержания постоянной температуры при хранении продукта Q_2 ;

- охлаждение приточного воздуха Q_3 при использовании вентиляции для камеры;

- потери холода при открывании дверей и нахождении в ней людей Q_4 .

Расход холода в камере за сутки определим в общем виде по формуле [3]:

$$Q_{\text{сут}} = \sum Q_1 + \sum Q_2 + \sum Q_3 + \sum Q_4. \quad (1)$$

Расход холода на теплопередачу через внешние ограждения камеры определим по формуле:

$$\sum Q_1 = \sum F \cdot \kappa \cdot (t_{\text{н}} - t_{\text{в}}) 24, \quad (2)$$

где F – площадь поверхности стен, пола и потолка камеры, м^2 ;

κ – коэффициент теплопередачи стен, пола и потолка, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$;

$t_{\text{н}}$ – наружная температура воздуха, $^\circ\text{C}$;

$t_{\text{в}}$ – внутренняя температура воздуха камеры, $^\circ\text{C}$ ($t_{\text{в}} = 2 \dots 4$ $^\circ\text{C}$).

Наружную температуру воздуха определим по формуле:

$$t_{\text{н}} = 0,4t_{\text{см}} + 0,6t_{\text{макс}}, \quad (3)$$

где $t_{\text{см}}$ и $t_{\text{макс}}$ – среднемесячная и максимальная суточная температуры самого жаркого месяца данного региона, $^\circ\text{C}$.

Количество холода для поддержания постоянной температуры при хранении определим в общем виде по формуле:

$$Q_2 = Q_2' + Q_2'' + Q_2''', \quad (4)$$

где Q_2' – количество холода для компенсации притока внешней теплоты, Дж;

Q_2'' – количество холода для компенсации нагрева продукта при его перекачке насосом по трубам, Дж;

Q_2''' – количество холода для компенсации потерь при вентиляции холодильных камер, Дж.

Количество холода для компенсации притока внешней теплоты определим по формуле:

$$Q_2' = 24 \cdot F \cdot \Delta t_1, \quad (5)$$

где Δt_1 – разность температур между средами, находящимися в условиях теплообмена, $^\circ\text{C}$;

F – площадь поверхности батареи теплообмена, м^2 .

Общую площадь поверхности батареи теплообмена определим по формуле:

$$F = \frac{Q}{\kappa \cdot \Delta t_2}, \quad (6)$$

где Q – тепловая нагрузка батарей, установленных в камере, Дж/ч;

κ – коэффициент теплопередачи, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$;

Δt_2 – разность температур воздуха камеры и циркулирующего рассола или испаряющегося хладона, $^\circ\text{C}$.

Зная общую площадь поверхности батареи, задаются диаметром труб, определяют длину и с учетом размеров камеры подбирают длину батареи и число труб в ряду.

Количество холода для компенсации нагрева продукта при его перекачке насосом по трубам определим по формуле:

$$Q_2'' = 860 \cdot N \cdot t, \quad (7)$$

где N – мощность насоса для перекачки продукта, кВт;
 t – длительность работы насоса, ч/сут;

Количество холода для компенсации потерь при вентиляции холодильных камер:

$$Q_2''' = \alpha \cdot B \cdot (i_1 - i_2), \quad (8)$$

где α – кратность замены воздуха в холодильных камерах в сутки;

B – масса удаляемого воздуха, кг.

i_1 и i_2 – энтальпии наружного воздуха камеры при соответствующей влажности.

Подставив значения формул (5)...(8) в выражение (4) получим формулу по определению количества холода для поддержания постоянной температуры продукта при хранении:

$$Q_2 = \frac{24 \cdot Q \cdot \Delta t}{\kappa \cdot \Delta t_2} + 860 \cdot N \cdot t + \alpha \cdot V \cdot \gamma_B \cdot (\lambda_H - \lambda_K). \quad (9)$$

Расход холода на охлаждение приточного воздуха при использовании вентиляции в камере определим по формуле:

$$Q_3 = \alpha \cdot V \cdot \gamma_B \cdot (\lambda_H - \lambda_K), \quad (10)$$

где α – кратность смены воздуха в сутки ($\alpha = 2$);

V – вместимость камеры, м³;

γ_B – удельный вес камеры воздуха при температуре камеры, Н/м³;

λ_H и λ_K – теплосодержание наружного воздуха и камеры при его соответствующей влажности, Дж/кг.

Расход холода при открывании дверей и на пребывание людей в камере и другие потери приближенно определим по формуле:

$$\sum Q_4 = (0, 2...0, 4) \sum Q_1 \quad (11)$$

Подставив значения формул (2), (3), (9)...(11) в выражение (1) получим формулу по определению расхода холода в камере за сутки в холодильной камере:

$$Q_{сут} = F \cdot k \cdot (t_H - t_B) \cdot 24(1 + (0, 2...0, 4)) + \frac{24 \cdot Q \cdot \Delta t}{\kappa \cdot \Delta t_2} + 860 \cdot N \cdot t + \alpha \cdot V \cdot \gamma_B \cdot (\lambda_H - \lambda_K) + \alpha \cdot V \cdot \gamma_B \cdot (\lambda_H - \lambda_K). \quad (12)$$

В практике общее суточное количество холода $Q_{сут}$ при кратковременном хранении продуктов в камере подают от холодильной установки периодически, но с перерывами, не превышающими 3...5 ч. Для выбора холодильного агрегата, предназначенного только для охлаждения камеры, задаются числом часов его работы в сутки и

определяют его необходимую часовую холодильную мощность, по формуле:

$$Q = \frac{F \cdot k \cdot (t_H - t_B) \cdot 24(1 + (0,2 \dots 0,4))}{n} + \frac{24 \cdot Q \cdot \Delta t}{\kappa \cdot \Delta t_2 \cdot n} + \frac{860 \cdot N \cdot t + \alpha \cdot V \cdot \gamma_B \cdot (\lambda_H - \lambda_K) + \alpha \cdot V \cdot \gamma_B \cdot (\lambda_H - \lambda_K)}{n}, \quad (13)$$

где n – принятое число часов работы установки в сутки, ч.

Если же одну и ту же холодильную установку используют для охлаждения молочных продуктов на охладителе и камеры, то мощность холодильной установки определим по формуле:

$$Q_y = Q_{\text{охл}} + \frac{F \cdot k \cdot (t_H - t_B) \cdot 24(1 + (0,2 \dots 0,4))}{n} + \frac{24 \cdot Q \cdot \Delta t}{\kappa \cdot \Delta t_2 \cdot n} + \frac{860 \cdot N \cdot t + \alpha \cdot V \cdot \gamma_B \cdot (\lambda_H - \lambda_K) + \alpha \cdot V \cdot \gamma_B \cdot (\lambda_H - \lambda_K)}{n} \quad (14)$$

При кратковременной работе охладителя (3...4 раза в сутки по 1...1,5 ч) подбирают установку по наибольшему часовому потреблению холода и используют ее поочередно.

Обычно в холодильных камерах для их охлаждения устанавливают рассольные батареи и батареи непосредственного испарения.

Выводы.

1. Своевременное и качественное охлаждение молока является обязательным условием для получения высококачественной молочной продукции.

2. Одним из важнейших параметров холодильной установки, от которого зависит успех процесса быстрого охлаждения молока, является расход холода в холодильной установке.

3. Проанализировав формулу (12) и (14) было установлено, что расход холода в танке-охладителе зависит от температуры поступающего молока, его объема и площади теплообмена.

Список литературы

1. Передня В.И., Шаршунов В.А., Китун А.В. Технологии и оборудование для доения коров и первичной обработки: уч. пособие Минск, Минсанта, 2016. 975 с.

2. Китун А.В., Передня В.И., Романюк Н.Н. Машины и оборудование в животноводстве: уч. пособие. Минск: ИВЦ Минфина, 2016. 382 с.

3. Китун А.В., Передня В.И., Романюк Н.Н. Машины и оборудование в животноводстве: учебник. Минск: БГАТУ, 2019. 504 с.