

# ПРОМЫШЛЕННЫЕ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ, ОСНОВЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ

Лекция №8

## План лекции:

1. Холодильники. Общие сведения
2. Классификация холодильных установок
3. Классификация промышленных холодильников
4. Определение тепловых нагрузок на холодильное оборудование

## 1. ХОЛОДИЛЬНИКИ. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Под **промышленным холодильником** понимают предприятие (или цех), в помещениях которого с помощью **холодильной установки** поддерживают определенные режимы, необходимые для обработки и хранения продуктов. Холодильник состоит из технологического здания и компрессорного цеха с пристроенным к нему аппаратным отделением.

**Холодильной установкой** называют комплекс, включающий в себя генератор холода, охлаждающую систему и вспомогательные устройства, предназначенный для получения и использования искусственного холода в технологических процессах.

Как видно в пищевой отрасли понятие **холодильника** относится в большей степени к помещениям в которых поддерживается низкая температура, а понятие **холодильной установки** к оборудованию, с помощью которого эта температура обеспечивается.

В последующем изложении мы также будем придерживаться этой терминологии.

## 2. КЛАССИФИКАЦИЯ ХОЛОДИЛЬНЫХ УСТАНОВОК

Современные холодильные установки позволяют получать любые низкие температуры. Вся область низких температур условно делится на **низкие** (от 0 до  $-150^{\circ}\text{C}$ ), **криогенные** (от  $-150$  до  $-272,4^{\circ}\text{C}$ ) и **сверхнизкие** (от  $-272,4$  до  $-273,16^{\circ}\text{C}$  ( $0\text{ K}$ )).

Холодильные установки, используемые в пищевом производстве обеспечивают низкие температуры в диапазоне от  $+10$  до  $-40^{\circ}\text{C}$ . Кроме того, при замораживании продуктов питания важную роль играет темп охлаждения, зависящий от температуры охлаждающей среды. В установках быстрого замораживания температура теплоносителя может достигать и  $-150^{\circ}\text{C}$ .

Холодильные установки в своей основе используют различные физические процессы охлаждения рабочего тела. Например откачка (испарение) паров кипящей жидкости, температурное расслоение закрученных газовых потоков при расширении в вихревых трубах и множество др.

В установках для получения низких температур преимущественно используют три процесса охлаждения рабочего тела и соответствующую этим процессам классификацию:

**воздушные холодильные машины** - холодильные установки основанные на эффекте охлаждения газов при расширении с совершением внешней работы;

**парокомпрессионные холодильные машины** - холодильные установки основанные на эффекте охлаждения паров жидкости (как правило, кипящей при низкой температуре) при кипении с постоянным давлением;

**абсорбционные холодильные машины** - холодильные установки основанные на эффекте охлаждения при смешении и растворении веществ в жидких состояниях;

### 3. КЛАССИФИКАЦИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ХОЛОДИЛЬНИКОВ

В пищевом производстве, как правило, необходимо обеспечить условия для непрерывной холодильной обработки и хранения продуктов на пути от мест их заготовки до мест потребления. Совокупность **холодильников**, обеспечивающих такую обработку продуктов, называют **холодильной цепью**.

Отдельные звенья цепи следующие:

- холодильники для обработки продукта и хранения его на предприятии;
- холодильный транспорт для местных и дальних перевозок;
- торговое холодильное оборудование и бытовые холодильники.

В зависимости от назначения холодильники разделяют на следующие типы:

**заготовительные** - предназначены для заготовки продукции в сельской местности;

**производственные** - являются частью пищевых предприятий;

**транспортно-экспедиционные** - обеспечивают грузовые операции на водных, железнодорожных и воздушных линиях;

**распределительные** - предназначены для равномерного обеспечения городов и промышленных центров сезонными продуктами питания в течение всего года, а также для создания резервного запаса продуктов;

**перевалочные** - предназначены для временного хранения продуктов при передаче их с одного звена холодильной цепи на другое;

**торговые** - используют для кратковременного хранения продуктов в торговой сети, ресторанах, столовых;

**бытовые** - служат для кратковременного хранения продуктов в домашних условиях.

В зависимости от ассортимента хранимых грузов различают **универсальные и специализированные** холодильники. В универсальных холодильниках хранят смешанные грузы (мясо, рыба, фрукты, консервы и др.), в специализированных - однотипные.

В зависимости от вместимости холодильники условно классифицируют на **крупные** (свыше 3000 тонн), **средние** (от 1000 до 3000 тонн) и **мелкие** (менее 1000 тонн).

### 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОВЫХ НАГРУЗОК НА ХОЛОДИЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Общий тепловой поток, поступающий в охлаждаемые помещения холодильников:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4, \quad (1)$$

где:  $Q_1$  - теплоприток через ограждающие конструкции (стены, пол, потолок) помещения, Вт;  $Q_2$  - теплоприток от продуктов при их термической обработке, Вт;  $Q_3$  - теплоприток от вентиляции, Вт;  $Q_4$  - теплоприток, связанный с эксплуатацией камеры, Вт.

**Расчёт теплопритока через ограждающие конструкции.**

Теплоприток  $Q_1$  складывается из теплопритоков, обусловленных разностью температур наружного воздуха и воздуха камеры  $Q'_1$  и солнечной радиацией  $Q''_1$ :

$$Q_1 = Q'_1 + Q''_1 \quad (2)$$

Теплопритоки через ограждения, вызванные разностью температур, можно рассчитать используя модель теплопередачи через плоскую (или другого вида) стенку:

$$Q'_1 = kF(t_n - t_k), \quad (3)$$

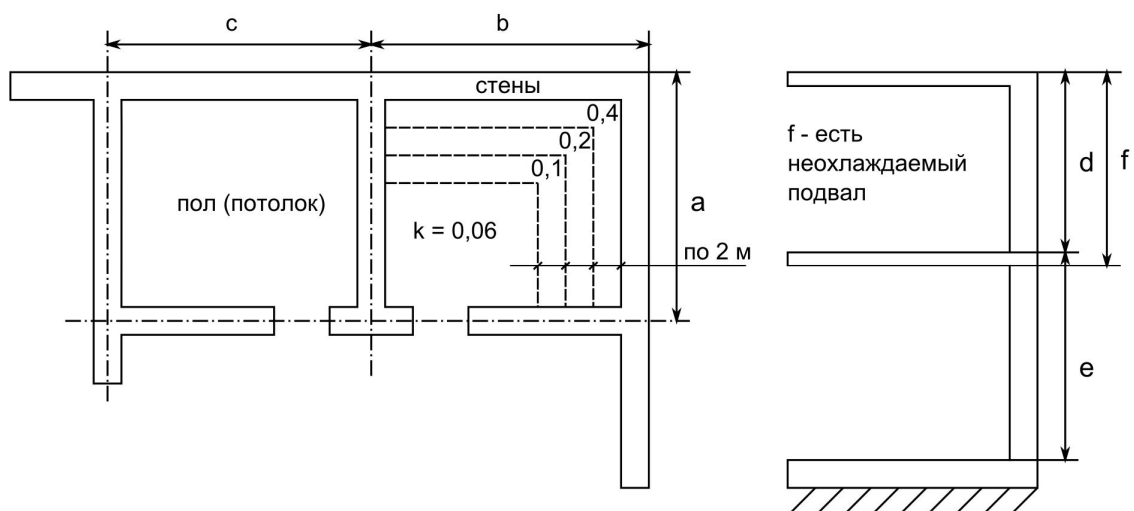
где:  $k$  - действительный коэффициент теплопередачи ограждения,  $Вт/(м^2 \cdot град)$ ;  $F$  - площадь поверхности ограждения,  $м^2$ ;  $t_n$  - расчетная температура наружного воздуха,  $^{\circ}C$ ;  $t_k$  - температура воздуха камеры,  $^{\circ}C$ .

Расчетную температуру наружного воздуха определяют по формуле:

$$t_n = 0,4 \cdot t_{ср.мес} + 0,6 \cdot t_{макс} \quad (4)$$

где:  $t_{ср.мес}$  и  $t_{макс}$  - среднемесячная температура в 13 часов самого жаркого месяца года и максимальная температура в году.

Площадь поверхности ограждений определяют следующим образом:



За длину наружных стен угловых помещений принимают размер от наружной поверхности стены до оси внутренней стены, длину наружной стены неугловых помещений находят по размеру между осями внутренних стен. Длину и ширину пола и потолка определяют, как длину внутренних стен.

Высоту стен в первых этажах, имеющих полы, расположенные непосредственно на грунте, отсчитывают от уровня пола до уровня пола вышележащего этажа; в первых этажах над неохлаждаемыми подвалами и подпольями - от уровня потолка подвала до уровня пола вышележащего этажа; в промежуточных этажах - от уровня пола данного этажа до уровня пола вышележащего этажа.

При определении теплопритоков из неохлаждаемых помещений, имеющих непосредственный выход наружу, расчетную разность температур уменьшают на 30%. Если неохлаждаемые помещения не имеют непосредственного выхода наружу, то расчетную разность температур уменьшают на 40%.

При определении теплопритоков через пол из неохлаждаемого подвала расчетную разность температур уменьшают вдвое.

**Теплопритоки через неизолированные полы, лежащие непосредственно на грунте**, рассчитывают из следующих соображений. Тепловой поток, поступающий от пола камеры, неодинаков по величине, причем чем ближе к центру камеры, тем тепловой поток меньше. В связи с этим площадь пола камеры условно разбивают на три зоны, шириной 2м каждая. Для зоны пола шириной 2м, отсчитанной от наружных стен, коэффициент теплопередачи принимают равным  $k_1 = 0,4$ . Для второй зоны, расположенной от наружных стен на расстоянии от 2 до 4м, коэффициент теплопередачи равен  $k_2 = 0,2$ ; для третьей зоны, расположенной на расстоянии от 4 до 6м, -  $k_3 = 0,1$ . Для остальной площади камеры коэффициент теплопередачи пола составляет  $k_4 = 0,06$ . Таким образом, тепловой поток от пола:

$$Q'_{1 \text{ пол}} = \sum_{i=1}^4 k_i F_i (t_n - t_k) \quad (5)$$

**Тепловой поток через изолированные полы, лежащие на грунте:**

$$Q'_{1 \text{ пол}} = \sum_{i=1}^4 k_i F_i (t_n - t_k) \cdot m \quad (6)$$

где:  $m$  - коэффициент, учитывающий относительное возрастание термического сопротивления пола при наличии изоляции (слой 1, 2 и т.д.):

$$m = 1 / \left( 1 + 1,25 \left( \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{\delta_{\text{пол}}}{\lambda_{\text{пол}}} \right) \right), \quad (7)$$

где:  $\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_{\text{пол}}$  - толщина отдельных слоев конструкции пола, м;  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_{\text{пол}}$  - теплопроводность отдельных слоев конструкции пола, Вт / (м · град).

**Для учета действия солнечной радиации** вычисляют дополнительный тепловой поток:

$$Q''_1 = k F \Delta t_c. \quad (8)$$

Избыточный перепад температур  $\Delta t_c$  вычисляется следующим образом:

$$\Delta t_c = p I \frac{A}{\alpha_n}, \quad (9)$$

где:  $p$  - коэффициент, учитывающий влияние тепловой инерции массивной ограждающей конструкции (для холодильников  $p = 0,75$ );  $I$  - интенсивность солнечной радиации, Вт / м<sup>2</sup> (например, для 50° северной широты при ориентации вертикальной стены на юг  $I = 384$  Вт / м<sup>2</sup>, для горизонтальной кровли независимо от стороны света  $I = 640$  Вт / м<sup>2</sup>);  $\alpha_n$  - средний коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности ограждений к воздуху, Вт / (м<sup>2</sup> · град);  $A$  - коэффициент поглощения солнечной радиации поверхностью ограждения (например, для асфальта  $A = 0,89$ , для красного кирпича  $A = 0,7$ , для бетона  $A = 0,65$ , для известковой побелки  $A = 0,4$ ).

Тепловой поток от солнечной радиации определяют как сумму тепловых потоков, поступающих через поверхность одной из стен, наиболее невыгодно ориентированной относительно солнечного излучения, и через поверхность кровли.

### **Расчет теплопритоков от продуктов при их холодильной обработке.**

В общем виде количество теплоты, отводимой от груза массой 1 кг, при холодильной обработке определяется разностью энтальпий груза до обработки (индекс 1) и после нее (индекс 2):

$$\Delta h = h_1 - h_2, \text{ кДж / кг} \quad (10)$$

При охлаждении и домораживании продуктов в камерах хранения  $Q_2$ , Вт определяют по формуле:

$$Q_2 = \frac{G \cdot 1000 \cdot \Delta h}{3600 \cdot 24} \quad (11)$$

где:  $G$ , кг / сутки - суточное поступление продуктов, принимаемое для крупных распределительных холодильников равным 8% от вместимости камер хранения вместимостью до 200 тонн включительно и 6% - для камер вместимостью более 200 тонн.

Кроме того, следует учитывать дополнительные теплопритоки от охлаждения тары, от охлаждения паров воды при холодильной обработке овощей и фруктов (дышащие продукты).

### **Расчет теплопритоков при вентиляции охлаждаемых помещений.**

Необходимость вентиляции охлаждаемых помещений определяется, во-первых, технологическими требованиями к состоянию воздушной среды, например в камерах хранения дышащих грузов, и, во-вторых, санитарными требованиями, связанными с обеспечением нормальных условий для людей, работающих в этих помещениях.

В охлаждаемые производственные помещения, где работает относительно большое число людей, необходимо подавать воздух в соответствии с санитарными нормами: 20 м<sup>3</sup>/час на одного работающего.

Теплоприток от этого воздуха, Вт :

$$Q_3 = 20 \cdot n \cdot \rho \cdot (h_n - h_k) \cdot 1000 / 3600 \quad (12)$$

где:  $n$  - число людей, одновременно работающих в помещении;  $\rho$  - плотность воздуха в охлаждаемом помещении, кг / м<sup>3</sup>;  $h_n$  - энтальпия наружного воздуха, кДж / кг;  $h_k$  - энтальпия воздуха помещения, кДж / кг.

Количество вентиляционного воздуха, подаваемого в камеры хранения дышащих грузов, принимают исходя из необходимости обеспечения кратности воздухообмена в пределах  $a = 3 \dots 4$  объемов  $V$  в сутки.

$$Q_3 = V \cdot a \cdot \rho \cdot (h_n - h_k) \cdot 1000 / (3600 \cdot 24). \quad (13)$$

### **Расчет эксплуатационных теплопритоков.**

Теплопритоки  $Q_4$  определяют как сумму теплопритоков:

$$Q_4 = Q_{41} + Q_{42} + Q_{43} + Q_{44} \quad (14)$$

где:  $Q_{41}, Q_{42}, Q_{43}, Q_{44}$  соответственно теплопритоки от освещения, от работы электродвигателей, от людей, от открывания дверей.

Теплоприток от освещения:

$$Q_{41} = AF \quad (15)$$

где  $A$  - количество теплоты, выделяемой осветительными приборами на  $1 \text{ м}^2$  площади камеры (для складских помещений  $A = 1 \text{ Вт/м}^2$ , для производственных  $A = 4 \text{ Вт/м}^2$ );  
 $F$  - площадь камеры,  $\text{м}^2$ .

При расположении электродвигателей (вентиляторов, насосов и др.) внутри охлаждаемого контура значение теплопритока от работы электродвигателей определяют по формуле:

$$Q_{42} = \sum N_{э} \cdot 1000 \quad (16)$$

где  $N_{э}$  - мощность электродвигателя, кВт.

Теплоприток от людей:

$$Q_{43} = 350 \cdot n, \quad (17)$$

где:  $n$  - число работающих в камере;  $350 \text{ Вт}$  - тепловыделения одним человеком при средней интенсивности работы.

Теплоприток от открывания дверей:

$$Q_{44} = BF, \quad (18)$$

где:  $B$  - удельный теплоприток при открывании дверей,  $\text{Вт/м}^2$ ;  $F$  - площадь поверхности дверей,  $\text{м}^2$ .

Все виды теплопритоков для рассчитываемой холодильной камеры суммируют. Полученная сумма является основой для определения площади поверхности теплообмена приборов охлаждения данной камеры, вида и холодопроизводительности холодильных установок.