

2.5. Тепловая нагрузка при термообработке продуктов

Этот вид тепловой нагрузки является следствием того, что почти всегда температура закладываемых в холодильную камеру продуктов выше температуры в камере. Следовательно, продукты в течение определенного времени, пока их температура не сравняется с температурой внутри камеры, будут выделять в пространство внутри камеры определенное количество тепла.

Тепловая нагрузка, обусловленная понижением температуры заложенных в камеру продуктов до температуры хранения, определяется по формуле:

$$Q_{prod} = \frac{(m_{np} \cdot c_1 \cdot (t_1 - t_2) + m_{np} \cdot L + m_{np} \cdot c_2 \cdot (t_2 - t_3))}{86400}, \text{ кВт},$$

где m_{np} — суточный грузооборот продуктов, кг/сутки;

c_1 — средняя удельная теплоемкость в интервале температур от t_1 до t_2

для каждого типа закладываемых продуктов, кДж/кг;

t_1 — начальная температура закладываемых продуктов, °C;

t_2 — температура верхней точки замерзания закладываемых продуктов, °C;

L — скрытая теплота замораживания закладываемых продуктов, кДж /кг;

c_2 — средняя удельная теплоемкость в интервале температур от t_2 до t_3

для каждого типа закладываемых продуктов кДж/кг·К;

t_3 — температура хранения продуктов, °C;

86400 — число секунд в сутках, с/сутки.

Таким образом, c_1 является средней удельной теплоемкостью заложенных продуктов при температурах выше их точки замерзания, а c_2 — средней удельной теплоемкостью этих продуктов при температурах ниже их точки замерзания.

Если в камеру закладываются разные продукты, вместо того, чтобы рассчитывать их теплоизделие по отдельности, можно вычислить средние удельные теплоемкости для всех в совокупности продуктов различных типов как до замерзания, так и после замерзания по формуле:

$$c_m = \frac{(m_1 c_{m1} + m_2 c_{m2} + \dots + m_n c_{mn})}{m_1 + m_2 + \dots + m_n}.$$

Когда камера предназначена только для охлаждения заложенных в нее продуктов без их замораживания, формула для расчета тепловой нагрузки от заложенных продуктов упрощается и принимает вид:

$$Q_{prod} = \frac{m_{np} c_1 (t_1 - t_2')}{86400}, \text{ кВт}; \text{ где } t_2' > t_2.$$

В случае, если продукт поступает в замороженном виде и хранится при температурах ниже температуры его замерзания, формула принимает вид:

$$Q_{prod} = \frac{m_{np} c_2 (t_2'' - t_3)}{86400}, \text{ кВт}; \text{ где } t_2'' < t_2.$$

В случае, если камера предназначена для заморозки продуктов за период времени меньше суток формула для расчета тепловой нагрузки от продуктов принимает вид:

$$Q_{prod} = \frac{(m_{np} \cdot c_1 \cdot (t_1 - t_2) + m_{np} \cdot L + m_{np} \cdot c_2 \cdot (t_2 - t_3))}{n \cdot 3600}, \text{ кВт},$$

где m_{np} — масса продуктов, поступающих на термообработку, кг;

n — время термообработки продуктов в часах.

Значения теплофизических характеристик продуктов, необходимые для расчета величины Q_{prod} , приведены в таблицах 1.1.-1.4.

Пример расчета. Взяв в качестве примера камеру для хранения замороженного мяса (из пункта 2.2) мы увидим, что оценка суточного грузооборота товара, выполненная в предыдущем пункте, дает нам значение этого грузооборота, равное 18 225 кг. Если допустить, что мясо при закладке на хранение имеет температуру -5°C, а его средняя удельная теплоемкость равна 1,8 кДж/кг (данные таблицы 1.1) и температура хранения мяса -18°C, то тепловая нагрузка от термообработки мяса определяется как:

$$Q_{prod} = \frac{m_{np} c_2 (t_2'' - t_3)}{86400} = \frac{18225 \cdot 1,8 \cdot (-5 - (-18))}{86400} = 4,936 \text{ кВт}.$$

2.6. Тепловая нагрузка в результате "дыхания" заложенных в камеру продуктов

Свежие продукты растительного происхождения при хранении в холодильных камерах выделяют тепло, обусловленное происходящими в них биохимическими процессами (их так называемым "дыханием") точно также, как это делают сыры во время своего созревания или пиво во время своего брожения. Следовательно, при наличии таких продуктов нужно учитывать соответствующую тепловую нагрузку $Q_{\text{дых}}$, которая определяется по формуле:

$$Q_{\text{дых}} = \frac{m \cdot q_{\text{дых}}}{86400}, \text{ кВт},$$

где m — масса рассматриваемых продуктов, кг;

$q_{\text{дых}}$ — теплота дыхания данных продуктов, кДж/кг·сутки;

86400 — число секунд в сутки, с/сутки;

или

$$Q_{\text{дых}} = \frac{m \cdot q_{\text{дых}}}{3600}, \text{ кВт},$$

где $q_{\text{дых}}$ берется из таблицы 1.2 или 1.3 и измеряется в кДж /тонну·час.;

m — масса рассматриваемых продуктов, тонн.

Пример расчета. Обратимся к примеру из предыдущего раздела, касающемуся камеры для хранения мороженого мяса. Имея ввиду, что тепло в результате дыхания (брожения, созревания) выделяют только свежие продукты растительного происхождения, пиво и сыры, получим:

$$Q_{\text{дых}} = 0.$$

2.7. Тепловая нагрузка от освещения

В обычных холодильных камерах светильники должны быть устойчивыми к воздействию холода, влаги и пыли, водонепроницаемыми и иметь противоударную защиту. Номинальная освещенность холодильной камеры, как правило, колеблется между 60 и 100 люксами, поэтому в расчетах может применяться значение тепловой нагрузки в пределах 3... 6 Вт на квадратный метр камеры.

В общем случае тепловая нагрузка от освещения $Q_{\text{осв}}$ рассчитывается по формуле

$$Q_{\text{осв}} = \frac{n \cdot P \cdot \tau}{24}, \text{ Вт},$$

где n — число светильников;

P — мощность каждого светильника, Вт, включая мощность стартера для люминесцентных ламп с горячим катодом;

τ — ежедневное время работы светильников, час/сутки;

24 — число часов в сутках.

Пример расчета. Вновь обратимся к примеру из пункта 2.2 и определим тепловую нагрузку от освещения, зная что камера освещена 4 светильниками, единичная мощность каждого из которых равна 125 Вт, и работают они 4 часа в сутки.

Имеем:

$$Q_{\text{осв}} = \frac{n \cdot P \cdot \tau}{24} = \frac{4 \cdot 125 \cdot 4}{24} = 83 \text{ Вт}.$$

2.8. Тепловая нагрузка, обусловленная присутствием персонала

Тепловая нагрузка, обусловленная присутствием персонала $Q_{\text{перс}}$, рассчитывается по формуле:

$$Q_{\text{перс}} = \frac{n \cdot q_{\text{перс}} \cdot \tau}{24}, \text{ Вт},$$

где n — число сотрудников, работающих в холодильной камере;

$q_{\text{перс}}$ — количество тепла, выделяемое в единицу времени одним человеком при средней активности, Вт (см. табл. 2-11).

τ — длительность ежедневного пребывания одного сотрудника в холодильной камере, час/сутки;

24 — число часов в сутках.

Таблица 2-11.

Тепловыделения от одного человека в единицу времени, находящегося в холодильной камере, при его средней активности

Температура в камере, °C	20	15	10	5	0	-5	-10	-15	-20	-25
Тепловыделения, Вт	180	200	210	240	270	300	330	360	390	420

Пример расчета. Опять вернемся примеру из раздела 2 и определим тепловую нагрузку, обусловленную присутствием персонала в камере хранения замороженного мяса, считая, что в ней работают два человека, находясь там по 4 часа в сутки.

Температура в камере -18°C , следовательно, согласно данным таблицы 2-11, $q_{nepc} = 378 \text{ Вт}$. Имеем:

$$Q_{nepc} = \frac{n \cdot q_{nepc} \cdot \tau}{24} = \frac{2 \cdot 378 \cdot 4}{24} = 126 \text{ Вт} .$$

Заметим, что в большинстве случаев величина τ длительности пребывания персонала в холодильной камере имеет то же значение, что и ежедневное время работы светильников τ .

2.9. Термовая нагрузка от подъемно-транспортных средств

Наиболее часто в качестве подъемно-транспортных средств используют грузоподъемные тележки и штабелеукладчики. Имеем:

$$Q_{PTC} = \frac{n \cdot P \cdot \tau}{24}, \text{ Вт} ,$$

где n — число транспортных средств данного типа;

P — мощность электроприводов подъемно-транспортного средства;

τ — суточная продолжительность работы подъемно-транспортного средства в холодильной камере;

24 — число часов в сутках.

Пример расчета. Вновь обратимся к примеру из раздела 2.2. Допустим, что в камере работает один электропогрузчик с двумя электродвигателями (один в механизме передвижения, другой в механизме подъема), каждый из которых имеет номинальную установленную мощность 5 кВт. Учитывая, что одновременно работает только один из механизмов электропогрузчика и время его работы в камере 4 часа в сутки, имеем:

$$Q_{PTC} = \frac{n \cdot P \cdot \tau}{24} = \frac{1 \cdot 5000 \cdot 4}{24} = 833 \text{ Вт} .$$

2.10. Термовая нагрузка от прочих механизмов, находящихся в холодильной камере

В общем случае в холодильной камере могут находиться самые разнообразные механизмы: сушильные шкафы, тендеры, мясорубки и т.п. Следовательно имеем:

$$Q_{proc} = \frac{n \cdot P \cdot \tau}{24}, \text{ Вт} ,$$

где n — число механизмов данного типа;

P — мощность каждого механизма, Вт;

τ — ежедневная продолжительность работы каждого типа механизмов;

2 — число часов в сутках.

Пример расчета. Вернувшись к примеру из пункта 2.2 отметим, что никаких дополнительных механизмов в камере хранения мяса нет. Следовательно $Q_{proc} = 0$.

2.11. Коэффициент безопасности

При расчете отдельных составляющих суммарной тепловой нагрузки необходимо достоверно знать все перечисленные выше условия работы холодильного оборудования и режимы хранения продукции. Однако часто при расчете некоторые из этих параметров остаются неизвестными. В этом случае необходимо задаться некоторыми средними для данного режима работы параметрами и ввести коэффициент κ_{bez} для этой составляющей тепловой нагрузки. Другими словами, этот коэффициент является мерой нашего незнания каких-либо условий или режимов работы камеры.

Значение коэффициента безопасности, как правило, находится в пределах от 1,0 до 1,1.

Пример расчета. Вернувшись к примеру из пункта 2.2 отметим, что при расчете суточного грузооборота продукта мы воспользовались его оценочной величиной в размере 10% от полной

загрузки камеры. Поэтому для данной составляющей тепловой нагрузки мы введем коэффициент безопасности $\kappa_{без}$ равный 1,1. В результате для величины тепловой нагрузки от продукта имеем:

$$Q'_{prod} = Q_{prod} \cdot \kappa_{без} = 4,936 \cdot 1,1 = 5,43 \text{ кВт}.$$

Кроме того, в пункте 2.4 при расчете тепловой нагрузки вследствие открывания двери мы также пользовались оценочной суточной величиной грузооборота, в связи с чем для этой составляющей нагрузки мы введем коэффициент безопасности равный 1,05:

$$Q'_{инф} = Q_{инф} \cdot \kappa_{без} = 2120 \cdot 1,05 = 2226 \text{ Вт}.$$

2.12. Промежуточная холодоизделийность

На этой стадии расчета необходимо определить предварительную холодоизделийность испарителя в первом приближении, называемую промежуточной, то есть такую, которая позволяет скомпенсировать промежуточную тепловую нагрузку (сумму всех определенных ранее тепловых нагрузок) $Q_{пром}$. Далее полученное значение промежуточной холодоизделийности будет использовано нами для расчета планируемой холодоизделийности Q_0 план.

Промежуточная тепловая нагрузка определяется как:

$$Q_{пром} = \frac{24 \cdot (Q_{стен} + Q_{вен} + Q_{инф} + Q_{прод} + Q_{дыих} + Q_{осв} + Q_{перс} + Q_{пмс} + Q_{проч})}{\tau_p},$$

где τ_p , час/сут — ежедневная продолжительность работы холодильной установки,
(см. табл. 2.12)

24 — количество часов в сутках.

Таблица 2.12.

Рекомендуемая продолжительность работы холодильной установки, и периодов оттаивания, предусматриваемых для различных типов холодильных камер

Тип холодильной камеры	Расчетное время работы холодильной установки τ_p , час/сутки	Продолжительность оттайки, $\tau_{отт}$, час/сутки
Камера хранения неупакованных замороженных продуктов	18	4
Камера хранения упакованных замороженных продуктов	20	2
Камера хранения молочных продуктов	21	1
Камера хранения овощей и фруктов	20	2
Камера охлаждения	20	4
Камера заморозки	18	6
Камера созревания сыра	20	2
Камера сушки колбас	20	2
Камера засолки	20	2
Холодильный шкаф	20	2

2.13. Термовая нагрузка от двигателей вентиляторов и электронагревателей оттайки воздухоохладителей

В современных холодильных камерах с целью обеспечения эффективного перемешивания и хорошей циркуляции воздуха внутри камер все испарители оборудуются вентиляторами. Каждый вентилятор имеет приводной электродвигатель, который выделяет тепло, добавляющееся к теплу, выделяемому другими источниками.

Системы оттаивания испарителей могут быть различной конструкции, но как правило речь идет об оттаивании с помощью электронагревателей.

Термовая нагрузка от работы двигателей вентиляторов и электронагревателей оттайки воздухоохладителей $Q_{воздух}$ определяется по формуле:

$$Q_{воздух} = \frac{(n_1 \cdot P_1 \cdot \tau_{вен} + 0,3 \cdot n_2 \cdot P_2 \cdot \tau_{отт})}{\tau_p}, \text{ Вт},$$

где n_1 — число электродвигателей вентиляторов;

P_1 — мощность рассматриваемого вентилятора. Вт;

$\tau_{вен}$ — ежедневная продолжительность работы вентиляторов; час/сутки (как правило $\tau_{вен} = \tau_p$);

τ_p — ежедневная продолжительность работы холодильной установки, час/сутки; (см. табл. 2.12)

0,3 — коэффициент, учитывающий долю тепла электронагревателей оттайки, идущую

на увеличению тепловой нагрузки на камеру. Этот коэффициент следует учитывать в случае работы вентиляторов воздухоохладителя в процессе оттайки, в противном случае значение этого коэффициента равно 0;

n_2 — число электронагревательных элементов;

P_2 — тепловая мощность каждого нагревательного элемента данного типа, Вт;

$\tau_{отт}$ — ежедневная длительность оттаивания, часов/сутки (см. таблицу 2.12);

Для этого расчета, следовательно, необходимо знать число и тип предусмотренных испарителей (число электродвигателей вентиляторов, их мощность а так же мощность электронагревателей оттайки). Однако обычно эти характеристики становятся известными только тогда, когда расчет теплового баланса завершен. Поэтому вначале число и тип испарителей определяют в первом приближении, а затем уточняют результаты как только станет известным полная действительная тепловая нагрузка. Поэтому на данном этапе определяют предварительную тепловую нагрузку от работы воздухоохладителей $Q_{возд.предв.}$, которая составляет 10...20% от промежуточной холодопроизводительности, рассчитанной в пункте 2.11. Следовательно, имеем:

$$Q_{возд.предв.} = (0,1...0,2)Q_{пром}, \text{ Вт}.$$

2.14. Предварительная потребная холодоизделийность холодильной установки

Предварительная потребная холодопроизводительность холодильной установки $Q_{0предв.}$ определяется по формуле:

$$Q_{0предв.} = Q_{пром} + Q_{возд.предв.},$$

где $Q_{пром}$ и $Q_{возд.предв.}$ — величины, рассчитанные в пунктах 2.12 и 2.13.

2.15. Уточняющий расчет потребной холодоизделийности

После определения предварительной потребной холодопроизводительности выбирают марку, тип и количество воздухоохладителей, размещаемых в камере. Затем по формуле из пункта 2.12 рассчитывают уточненную тепловую нагрузку от работы воздухоохладителей $Q_{воздух.}$

Уточненная потребная холодопроизводительность установки рассчитывается по формуле:

$$Q_0 = Q_{пром} + Q_{воздух.}$$

В случае, если полученное значение Q_0 существенно отличается от полученного в пункте 2.14 $Q_{0предв.}$, расчет повторяют, начиная с пункта 2.12, изменяя значение $Q_{возд.предв.}$.

Пример расчета. В предыдущих пунктах мы рассчитали следующие значения тепловых нагрузок для камеры хранения замороженного мяса.

$$Q_{стен} = 4\,829 \text{ Вт}$$

$$Q_{вен} = 2\,837 \text{ Вт}$$

$$Q_{инф'} = 2\,226 \text{ Вт}$$

$$Q_{прод'} = 5\,430 \text{ Вт}$$

$$Q_{дын} = 0 \text{ Вт}$$

$$Q_{осв} = 83 \text{ Вт}$$

$$Q_{перс} = 126 \text{ Вт}$$

$$Q_{ПТС} = 833 \text{ Вт}$$

$$Q_{проч} = 0 \text{ Вт}$$

Если продолжительность ежедневной работы установки принять равной 18 часам (табл. 2.12), то промежуточная холодопроизводительность испарителя будет равна

$$Q_{пром} = \frac{24 \cdot (4829 + 2837 + 2226 + 5430 + 83 + 126 + 833)}{18} = 21819 \text{ Вт}.$$

$$Q_{возд.предв.} = 21819 \cdot 0,12 = 2618 \text{ Вт}.$$

Следовательно, планируемая холодопроизводительность

$$Q_{0предв.} = Q_{пром} + Q_{возд.предв.} = 21819 + 2618 = 24437 \text{ Вт}.$$

В соответствие с каталогом производителя, в данном случае ЗАО "Остров" "Холодильные системы" выбираем, например, два кубических потолочных воздухохладителя типа ВК7-345-АЕ. Характеристики одного воздухохладителя :

- холодопроизводительность 13 кВт при температуре в камере -18°C и разности температур 6K;
- три вентилятора каждый с двигателем мощностью 390 Вт;
- электронагреватели оттайки с суммарной тепловой мощностью 6 000 Вт.

Теперь можно рассчитать тепловую нагрузку от вентиляторов воздухохладителя и электро-нагревателей оттайки предполагая, что ежедневная продолжительность работы вентилятора равна 18 часов в сутки, а время оттайки 4 часа в сутки.

$$Q_{воздух} = \frac{(n_1 \cdot P_1 \cdot \tau_{вен} + 0,3 \cdot n_2 \cdot P_2 \cdot \tau_{отт})}{\tau_p} = \\ = \frac{(6 \cdot 390 \cdot 18 + 0 \cdot 3 \cdot 6000 \cdot 4)}{18} = 2340 \text{ Bm} .$$

Уточненное значение суммарной тепловой нагрузки на камеру равно:

$$Q_0 = Q_{пром} + Q_{возд.} = 21819 + 2340 = 24159 \text{ Bm} .$$

Отметим, что разница между значениями планируемой и уточненной тепловыми нагрузками составляет 1,15 %, что вполне допустимо.

2.16. Примеры различных расчетов

Пример 1. Определить распределение температур по толщине пола холодильной камеры, описанной в п.2.1. (камера хранения замороженного мяса). Поперечный разрез камеры приведен на рис. 2.7.



Рис. 2. Поперечный разрез пола камеры

Решение.

- нижний слой пола уложен на утрамбованный грунт, и подогревается ТЭНами, температура под нижней плитой пола поддерживается на уровне +2°C;
- температура воздуха внутри холодильной камеры $t = -18°C$;
- коэффициент теплопередачи пола, рассчитанный в п. 2.2, равен $K = 0,376 \text{ Вт}/\text{м}^2 \text{ К}$;
- тепловая нагрузка через пол, рассчитанная в п.2.2, равна $Q = 1 353 \text{ Вт}$;
- площадь пола камеры $S = 12 \cdot 15 = 180 \text{ м}^2$;
- теплофизические характеристики различных элементов, из которых состоит пол, приведены в таблицах 2.2 и 2.3;

Перепад температур на каждом из слоев пола рассчитывается по формуле:

$$\Delta t_i = \left(\frac{Q}{S} \right) \cdot \frac{1}{K_i},$$