

Тема 7. ПОТРЕБИТЕЛИ ХОЛОДА

Наиболее масштабными потребителями низкотемпературных технологий являются предприятия хранения и переработки продуктов питания; отрасли химической, биологической и медицинской промышленности, а также сфера быта и торговли. Холодильные предприятия (холодильники) являются самыми крупными потребителями холода и предназначены для охлаждения, замораживания и хранения скоропортящейся продукции, в том числе и пищевого назначения.

Холодильником называется строительное сооружение или устройство, предназначенное для охлаждения, замораживания и хранения пищевых продуктов или иных грузов обычно при температурах ниже температуры окружающей среды. Совокупность холодильных устройств, обеспечивающих постоянное воздействие низких температур на скоропортящиеся продукты от момента их производства до момента потребления, называется холодильной цепью. Непрерывность холодильной цепи позволяет снабжать население в любое время года скоропортящимися продуктами высокого качества.

По назначению холодильники подразделяются на производственные, базисные, распределительные, портовые, торговые, транспортные, бытовые и холодильники специального назначения.

Производственные холодильники строятся при предприятиях, перерабатывающих скоропортящиеся продукты и служат для первичной термообработки и кратковременного хранения сырья и продуктов производства этих предприятий.

Базисные холодильники предназначены для долгосрочного хранения продуктов, поступающих из производственных холодильников, в целях создания государственных резервов.

В распределительных холодильниках (хладокомбинатах) хранятся запасы продуктов, производство которых носит периодический или сезонный характер

Портовые холодильники служат для хранения скоропортящихся продуктов в местах перегрузки их с одного вида транспорта на другой. Строятся такие холодильники в речных и морских портах. Для них характерны большие объёмы грузовых операций, операций по осмотру, сортировке и карантинной выдержке продуктов.

Торговые холодильники строятся при предприятиях торговли и общественного питания и служат для краткосрочного хранения продуктов перед их реализацией.

Транспортные холодильники предназначены для обеспечения связи между отдельными звеньями холодильной цепи. Они создаются на различных видах транспорта.

Бытовые холодильники и морозильники служат для краткосрочного хранения и замораживания скоропортящихся продуктов в быту.

Холодильники специального назначения предназначены для хранения медицинских препаратов, зимних вещей, мехов и т. д.

Назначение холодильника определяет требования к его проектированию, выбор оборудования и режим его эксплуатации.

7.1. Принципы планировки холодильников

В основу планировок холодильников различных типов положены определенные принципы, учитывающие особенности выполняемых холодильником функций и условий, в которых он работает, а также климатические особенности района строительства. Необходимость учёта большого числа различных факторов при выполнении планировки затрудняет однозначное решение задачи. В связи с этим можно указать лишь на общие тенденции:

- планировка должна соответствовать принятой схеме термообработки груза, уменьшая пути перевозки грузов в пределах холодильника, не допуская встречных грузовых потоков;
- планировка должна обеспечивать экономичность строительства и эксплуатации холодильника, для чего следует наиболее рационально использовать площади холодильника путем повышения коэффициента использования площади каждой камеры и уменьшения площади вспомогательных помещений, максимально использовать местные строительные материалы и уменьшать расход изоляционных материалов путем рационального размещения камер, выбирать размеры строительных конструкций здания холодильника, исходя из возможности использования сборных железобетонных конструкций заводского изготовления, выбирать размеры и форму холодильника и размещать в нем камеры с учетом минимальной величины теплопритоков как снаружи, так и между камерами, выделять камеры с большой влажностью воздуха в отдельные блоки, отделенные от остальных камер надежной гидроизоляцией, предусматривать наиболее передо-

вые и интенсивные методы термообработки продуктов, наиболее эффективное оборудование, что позволит на меньших площадях получить увеличенную мощность предприятия;

- планировка должна соответствовать принятой схеме охлаждения, иметь необходимые помещения для размещения оборудования;
- планировка должна отвечать требованиям правил охраны труда, техники безопасности и пожарной безопасности;
- планировка должна обеспечивать возможность расширения предприятия и поочередного ввода вместимостей.

При планировке холодильника следует обращать внимание на предохранение от вспучивания находящегося под ним грунта, что зависит от температуры воздуха в камерах нижнего этажа, характера грунта и уровня грунтовых вод. Из-за роста кристаллов льда объем грунта увеличивается, он вспучивается, а это ведет к разрушению отдельных элементов конструкций здания холодильника. Для защиты здания холодильника от разрушения вследствие вспучивания грунта используются различные средства:

- увеличение толщины изоляционного слоя настолько, чтобы нулевая изотерма проходила в изоляционном слое;
- устройство каналов или прокладка керамических труб с подачей в них теплого воздуха под низкотемпературными камерами первого этажа холодильника;
- устройство электроподогрева под полом путем укладки в бетонную подушку стальных проводников диаметром 10...18 мм с шагом не более 1 м, через которые пропускают ток напряжением 25...30 В;
- укладка под полом змеевиков из труб, в которых циркулирует подогретая вода, масло или другая жидкость. Для подогрева жидкости может быть использован горячий пар хладагента, взятый с нагнетательной стороны компрессора;
- отрыв пола первого этажа от грунта и устройство подполья. Подполье продувается наружным воздухом за счет его естественной циркуляции.
- устранение возможности притока грунтовых вод к зоне промерзания грунта.

Для хорошей организации и быстрого выполнения грузовых операций холодильник должен иметь достаточный фронт грузовых работ, т. е. платформы для приема грузов с транспорта и выдачи их. Обычно холодильники имеют железнодорожную и авторефрижераторную платформы, а холодильники, расположенные у водных бассейнов, – еще и водную. Высота платформы над уровнем земли должна соответствовать высоте пола

железнодорожного вагона или кузова автомашины. Для защиты груза от атмосферных осадков во время погрузочно-разгрузочных работ над платформой и железнодорожными путями устраивают закрытый дебаркадер (как бы навес).

Но и при закрытых платформах на поверхности мороженого груза в летнее время может конденсироваться влага, а в зимнее время могут подмораживаться охлажденные грузы. Чтобы этого не было, применяются охлаждаемые платформы. Наружные боковые стены и покрытие такой платформы изолируются. Внутри закрытой платформы кондиционерами поддерживается температура $0...2^{\circ}\text{C}$, оптимальная для охлажденных грузов и благоприятная для мороженных. В наружной продольной стене имеется ряд изолированных дверей. На передней стене установлены раздвижные чехлы. Перед разгрузкой вагона они устанавливаются против дверей вагона и платформы и раздвигаются, образуя закрытый коридор, предохраняющий перевозимые продукты от действия наружного воздуха.

Платформы должны иметь лестницу для подъема людей и пандус для вкатывания тележек, подъема электрокаров и электропогрузчиков. Для взвешивания груза при приеме и выдаче на платформе устанавливаются врезные весы (примерно одни весы на каждые 20 м длины платформы).

Длина платформ определяется расчетом по количеству груза, поступающего на холодильник и выдаваемого с холодильника за сутки.

7.2. Изоляционные материалы холодильников

7.2.1. Теплоизоляционные материалы

Для уменьшения теплопритоков снаружи внутрь охлаждаемого контура холодильника или из камер с более высокой температурой в камеры с более низкой температурой следует ограждения охлаждаемых грузовых помещений покрывать изоляционными материалами. Изоляционные материалы должны обладать следующими свойствами:

- малым коэффициентом теплопроводности;
- малой плотностью;
- незначительной гигроскопичностью и влагоемкостью;
- температуростойкостью и морозостойкостью;
- отсутствием запаха и способности к впитыванию посторонних запахов;
- огнестойкостью;
- стойкостью против поражения грибками и против грызунов;

- долгим сроком службы;
- малой стоимостью.

По эффективности теплоизоляционные материалы разделяют на четыре группы:

- высокоэффективные – $\lambda = 0,047 \text{ Вт/(м·К)}$ и $\rho = 15 \div 100 \text{ кг/м}^3$;
- эффективные – $\lambda = 0,047 \div 0,082 \text{ Вт/(м·К)}$ и $\rho = 100 \div 300 \text{ кг/м}^3$;
- средней эффективности – $\lambda = 0,082 \div 0,17 \text{ Вт/(м·К)}$ и $\rho = 350 \div 600 \text{ кг/м}^3$;
- низкой эффективности – $\lambda = 0,17 \div 0,35 \text{ Вт/(м·К)}$ и $\rho = 600 \div 1000 \text{ кг/м}^3$;

Материалы последней группы относят к строительным материалам и как изоляционные применяют в исключительных случаях для малоответственных сооружений.

По происхождению теплоизоляционные материалы делятся на синтетические, органические и минеральные.

Синтетические – это искусственные материалы органического происхождения, получаемые из синтетического сырья (пенополистирол, минипора, пенополиуретан). Пенополистиролы обладают высокими теплоизоляционными свойствами, высокой водоустойчивостью, морозостойкостью, очень малой влаго- и паропроницаемостью, не поражаются грибами, грызунами, не гниют. Некоторые виды пенополистирола трудновозгораемы.

К теплоизоляционным материалам органического происхождения относятся различные материалы растительного происхождения, сохраняющие ячеистую структуру, характерную для стебля в период жизни растения (натуральная пробка, гидрофобные торфоплиты, бумажнолитая изоляция, древесноволокнистые плиты). За исключением изделий из натуральной пробки, эти материалы имеют общие недостатки, они подвержены загниванию, поражаются грибами и плесенью, увлажняются, способствуют разведению грызунов, хорошо горят, обладают малой механической прочностью. Достоинства их – малый коэффициент теплопроводности и дешевизна.

К естественным материалам минерального происхождения относятся легкие ячеистые камни: пемза, туф, известняк, ракушечник и др. Это материалы низкой эффективности, применяемые как местные строительные и одновременно теплоизоляционные материалы при строительстве небольших холодильников. Для изоляционных конструкций крупных холодильников используются эффективные искусственные минеральные изоляционные материалы (пенобетон, газостекло, котельные шлаки). Они более прочны, менее гигроскопичны, менее подвержены гниению, поражению грибами, грызунами, менее возгораемые, чем материалы органического

происхождения. Для изоляции наружных и внутренних ограждений холодильника, а также изоляции трубопроводов и аппаратов применяются изделия из минеральной и стеклянной ваты.

По виду изготовления теплоизоляционные материалы делятся на:

- штучные жесткие изделия, имеющие определённые размеры и форму (плиточные, блочные материалы и фасонные изделия из изоляционных материалов);
- штучные гибкие изделия, имеющие определённые размеры, но допускающие в некоторой степени изменение формы (маты, рулонные материалы, изоляционный шнур и т. д.);
- сыпучие или засыпные материалы, представляющие собой рыхлую бесформенную массу с произвольным расположением частиц (шлак, опилки, пробковая крошка, нити, волокна и т. д.);
- материалы, которые в конечном виде получают в самом процессе выполнения теплоизоляционных работ, например, напылением на изолируемую поверхность или заливкой исходной смеси в изолируемое пространство.

Выбор изоляционных материалов для заданной изоляционной конструкции зависит от условий, в которых эта конструкция будет работать, и дополнительных требований к материалу, определяемых этими условиями.

7.2.2. Паро- и гидроизоляционные материалы

Наличие разности парциальных давлений водяного пара, содержащегося в окружающей среде и в охлаждаемом помещении, вызывает поток пара через ограждение. Кроме того, в ряде случаев возможно поступление влаги в ограждение при соприкосновении капельной воды с материалами. Так, в ограждение может проникать влага из грунта, влага атмосферных осадков, что требует выполнения гидрозащиты материалов, из которых сделаны ограждения. Защита от проникновения парообразной и капельной влаги выполняется материалами, одновременно являющимися паро- и гидроизоляционными.

Пароизоляционные материалы должны отвечать следующим основным требованиям:

- иметь высокое сопротивление паропрооницанию, что характеризуется малым коэффициентом паропрооницаемости материала;
- не поглощать влагу, что предупреждает гниение материалов и обеспечивает их долговечность;

- быть температуроустойчивыми, т. е. не быть хрупкими при низких температурах и не размягчаться при температурах, соответствующих верхней границе рабочего температурного интервала;
- не должны иметь вредного воздействия на окружающую среду и человека, в том числе и в условиях чрезвычайных ситуаций;
- быть доступными и обладать приемлемыми стоимостными показателями.

Основным пароизоляционным материалом является битум, который может применяться самостоятельно или являться важнейшей составляющей многих пароизоляционных материалов. Твёрдые нефтяные битумы выпускают нескольких марок, различающихся главным образом по температуре размягчения, т. е. температуре, при которой битум переходит из твёрдого состояния в пластично-текучее.

По способу производства пароизоляционных работ пароизоляционные материалы могут быть окрасочные и оклеечные.

К окрасочным материалам относятся битум, битумные эмульсии и битумные мастики.

К оклеечным пароизоляционным материалам относятся различные битумные и не битумные рулонные и листовые материалы (пергамин, рубероид, гидроизол, фольгоизол, изол, бризол, полимерные плёночные материалы и т. д.).

Хорошим средством защиты изоляции от увлажнения является облицовка поверхности стен глазурованными плитками.

Идеальными пароизоляционными материалами считаются металлы, которые применяются в низкотемпературных малых установках.

7.3. Ограждающие конструкции холодильников

Наружные ограждения являются основным элементом пассивного воздействия на температурный режим внутренних помещений.

Конструкции наружных ограждений холодильника представляют собой компоновку из строительных, теплоизоляционных и гидроизоляционных материалов. К конструкциям ограждений холодильника предъявляются следующие требования:

- толщина изоляционного слоя конструкции должна соответствовать оптимальному значению коэффициента теплопередачи ограждения при минимальной сумме затрат на эксплуатацию холодильной установки и на изоляцию;
- тепловая изоляция должна быть надёжно защищена от увлажнения;

- строительно-изоляционная конструкция должна предусматривать непрерывность теплоизоляционного и гидроизоляционного слоев;
- изоляционный слой должен надежно крепиться к строительным конструкциям и должен быть защищен от механических повреждений;
- теплоизоляционный слой должен быть защищен от грызунов.

Важнейшими показателями теплозащитных качеств ограждения является его термическое сопротивление, тепловая инерция, паропроницаемость и воздухопроницаемость.

Общее сопротивление теплопередаче ограждений холодильников рассчитывается по зависимости, аналогичной расчету этого же параметра для отапливаемых помещений

$$R_0 = \frac{1}{\alpha_n} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_e}, \quad (7.1)$$

где α_n – коэффициент теплообмена на наружной поверхности ограждения холодильника, Вт/(м²·К);

α_e – коэффициент теплообмена на внутренней поверхности ограждения холодильника, Вт/(м²·К);

δ_i – толщина строительного слоя конструкции ограждения, м;

λ_i – коэффициент теплопроводности материала слоя конструкции ограждения, Вт/(м·К).

Общее сопротивление теплопередаче ограждения должно соответствовать условию $R_0 \geq R_{mp}$, где R_{mp} – требуемое сопротивление теплопередаче. Однако существует проблема выбора R_{mp} , связанная с необходимостью учета экономических факторов и условий эксплуатации. В таблицах 7.1 ÷ 7.3 приведены данные по величине требуемого сопротивления теплопередаче, основанные на действующих нормативных документах.

Выбор сопротивления паропроницанию холодильников, как и сопротивление теплопередаче, тоже является сложной задачей и осложняется малой изученностью процессов переноса влаги в строительных материалах. На стадии проектирования требуемое сопротивление паропроницанию $R_{n,mp}$ назначается исходя из требований нормативных документов.

Таблица 7.1

Требуемое сопротивление теплопередаче наружных ограждений						
Среднегодовая температура в районе строительства $t_{cp}, ^\circ\text{C}$	Требуемое сопротивление теплопередаче, $\text{м}^2\cdot\text{K}/\text{Вт}$, при температуре воздуха в охлаждаемых помещениях, $^\circ\text{C}$					
	- 30	- 20	- 10	- 4	+ 4	+ 12
Наружные стены						
$t_{cp} \leq 0$	4,78	3,91	3,07	2,15	1,72	1,43
$0 < t_{cp} < + 9$	5,06	4,30	3,58	2,87	1,95	1,56
$t_{cp} \geq + 9$	5,38	4,78	4,30	3,51	2,87	1,91
Покрытия						
$t_{cp} \leq 0$	5,06	4,10	3,31	2,53	2,15	1,91
$0 < t_{cp} < + 9$	5,39	4,54	3,75	3,08	2,39	1,92
$t_{cp} \geq + 9$	5,73	5,06	4,30	3,91	3,58	2,15

Таблица 7.2

Требуемое сопротивление теплопередаче внутренних ограждений между охлаждаемыми помещениями						
Температура воздуха в более теплом помещении, $^\circ\text{C}$	Требуемое сопротивление теплопередаче, $\text{м}^2\cdot\text{K}/\text{Вт}$, при температуре воздуха в более холодном помещении, $^\circ\text{C}$					
	- 30	- 20	- 10	- 4	+ 4	+ 12
- 30	1,72					
- 20	2,00	1,72				
- 10	2,69	2,46	1,72			
- 4	3,58	3,07	2,46	1,72		
+ 4	4,1*	3,91*	3,31*	2,15	1,72	
+ 12	4,78*	4,53*	3,91*	2,46	1,91	1,32
+ 18	5,06*	4,78*	4,3*	2,87	2,15	1,43

* – ограждающие конструкции необходимо проверять на конденсацию влаги с теплой стороны

Таблица 7.3

Требуемое сопротивление теплопередаче внутренних ограждений, отделяющих охлаждаемые помещения от неохлаждаемых и неотапливаемых						
Температура воздуха в охлаждаемом помещении	- 30	- 20	- 10	- 4	+ 4	+ 12
Требуемое сопротивление теплопередаче, $\text{м}^2\cdot\text{K}/\text{Вт}$	3,74	3,58	3,07	2,46	1,91	1,56

7.3.1 Полы

Конструкция пола холодильника, расположенного на грунте, зависит от температуры воздуха в камерах первого этажа и от свойств грунта. Полы помещений с температурой 0 °С и выше не изолируют, ограничиваясь засыпкой сыпучих изоляционных материалов (шлака, керамзитового щебня). Засыпку делают по периметру наружных стен для уменьшения теплопритоков от наружных нагретых слоев грунта и стен, граничащих с камерами, в которых поддерживается отрицательная температура. Полы камер с отрицательной температурой воздуха изолируют по всей поверхности.

Если на первом этаже расположены камеры с низкими температурами, то необходимо предусмотреть мероприятия по защите грунта от вспучивания.

Строительно-изоляционная конструкция пола холодильника состоит из верхнего покрытия, несущего слоя из бетона или железобетона, воспринимающего нагрузку и предохраняющего от разрушения, и слоя теплоизоляционного материала.

Полы холодильника изолируют керамзитовым щебнем или шлаком, минераловатными плитами или плитами полистирола. При изоляции пола минераловатными плитами или плитами полистирола поверх изоляционного слоя укладывают слой гидроизоляционного материала, а затем устраивают армированную стяжку из бетона.

7.3.2. Междуетажные перекрытия и покрытия

Междуетажные перекрытия на холодильниках выполняются из железобетона. Такие перекрытия имеют гладкие потолки и минимальную конструктивную высоту.

Междуетажные перекрытия изолируют по верху, т. е. изоляцию накладывают на пол или по низу, т. е. по потолку. Изоляция по полу значительно упрощает производство изоляционных работ, позволяет использовать сыпучие и блочные материалы. Изоляция по потолку упрощает изоляционную конструкцию, так как отпадает необходимость защиты изоляционного материала от механических повреждений и уменьшается опасность увлажнения изоляции. Условия работы изоляции, уложенной по потолку, более благоприятны, чем изоляции, уложенной по полу. В качестве изоляционного материала для изоляции потолка используют пенополистирол или пенополиуретан.

Покрытия на холодильниках применяются бесчердачного типа, они состоят из несущих элементов, теплоизоляции и кровли. Кровля выполняется из нескольких слоев рулонного материала. В качестве теплоизоляции могут быть использованы плиточные, блочные и засыпные материалы. Кровлю холодильника делают плоской с уклоном 1,0...2,0%, создаваемым за счет переменной толщины теплоизоляции.

7.3.3. Стены и перегородки

Наружные стены холодильника состоят из наружного защитного слоя, который одновременно может быть несущим, и внутреннего – теплоизоляционного. Наружный слой выполняется из сборных железобетонных панелей, панелей из стальных или алюминиевых профилированных листов, из кирпича или различных природных камней. Теплоизоляционный слой выполняют из эффективных теплоизоляционных плиточных материалов – пенопластов или жестких минераловатных плит.

Железобетонные панели могут быть изолированы пенополистиролом и минеральной пробкой. Стыки железобетонных панелей заливают бетоном, оклеивают гидроизолом и изолируют по месту вкладышами из тепловой изоляции. Панели из металлических профилированных листов изолируют пенополистиролом или пенополиуретаном. Стыки панелей герметизируют прокладками из изоляционного материала с битумной заливкой и металлическими нащельниками. Кирпичные и железобетонные стены, изолируемые на месте строительства, выравнивают нанесением слоя цементной штукатурки, затем стену покрывают слоем гидроизоляции, после чего приклеивают битумными мастиками или специальными клеями плиты изоляции с перекрытием последующим слоем швов предыдущего. Швы между плитами промазывают битумной мастикой с крошкой изоляционного материала. Внутренняя поверхность изолированной стены покрывается цементной штукатуркой по металлической сетке или облицовывается асбестоцементными листами.

Перегородки холодильника целесообразно выполнять из блочных материалов, которые не требуют дополнительной строительной стенки, например из пенобетона, пеностекла, керамзитобетона, перлитобетона и др. При наличии строительной стенки перегородки можно изолировать плиточными материалами.

7.4. Тепловой расчет холодильника

Тепловой расчет холодильника заключается в определении суммы всех теплопритоков, поступающих внутрь холодильника. В установившемся состоянии в охлаждаемые камеры холодильника будут проникать и возникать внутри самих помещений следующие виды теплопритоков:

- Q_1 – теплоприток от окружающей среды, вызванный проникновением теплоты через ограждения камер;
- Q_2 – теплоприток от продуктов (грузов) при их холодильной обработке или от выделения теплоты при совершении реакций;
- Q_3 – теплоприток с наружным воздухом, подаваемым при вентиляции камер;
- Q_4 – эксплуатационный теплоприток (от горения лампочек, работы электродвигателей, пребывания людей в камере, открывания дверей).

Теплоприток, Вт, в каждую камеру

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4, \quad (7.2)$$

а сумма теплопритоков по всем камерам составит общий теплоприток в холодильник.

Для того чтобы выбранное холодильное оборудование могло в течение круглого года отбирать все теплопритоки, поступающие в холодильник, и поддерживать в камерах заданную температуру воздуха, оно должно быть подобрано исходя из наиболее тяжелых условий работы холодильника. Наиболее неблагоприятным будет тот период, в который сумма всех теплопритоков будет максимальной. Так как числовое значение первых двух теплопритоков Q_1 и Q_2 значительно больше остальных Q_3 и Q_4 , то последними можно пренебречь и при определении расчетного периода исходить из значений теплопритоков Q_1 и Q_2 .

В результате теплового расчета получают для каждой камеры величину теплопритока на оборудование $Q_{об}$ и на компрессор $Q_{ком}$.

Теплопритоки на оборудование $Q_{об}$ представляют собой тепловую нагрузку на батареи охлаждения или воздухоохладитель, которые следует установить в камере. На основании этой величины определяют поверхность приборов охлаждения, необходимую для поддержания в камере заданной температуры.

Теплопритоки на компрессор $Q_{ком}$ суммируют по группам камер с одинаковой температурой кипения хладагента в приборах охлаждения. На основании этой величины подбирают компрессор, конденсатор и испаритель холодильной машины.

При определении холодопроизводительности компрессора учитывают время работы оборудования и потери в аппаратах и трубопроводах вследствие разности температур окружающего воздуха и холодильного агента или рассола.

Холодопроизводительность компрессора, Вт, на каждую температуру кипения рассчитывают по формуле

$$Q_0 = k \cdot \frac{\sum Q_{ком}}{b}, \quad (7.3)$$

где k – коэффициент, учитывающий потери в трубопроводах и аппаратах;

$\sum Q_{ком}$ – суммарная тепловая нагрузка на компрессор при данной температуре кипения, Вт;

b – коэффициент рабочего времени (отношение времени работы компрессора к времени рабочего цикла); для средних и крупных холодильных установок $b = 0,9$ (22 ч работы в сутки), для малых $b = 0,5 \div 0,7$.

Коэффициент k принимают при непосредственном охлаждении в зависимости от температуры кипения: при t_0 равной -40°C , -30°C , -10°C , коэффициент k соответственно равен 1,1; 1,07; 1,05. При охлаждении хладагентом $k = 1,12$.

7.4.1. Теплоприток от окружающей среды через ограждения охлаждаемых помещений

Теплота, проникающая через ограждения холодильника, складывается из двух величин: теплопритоков вследствие наличия разности температур снаружи и внутри камер холодильника $Q_{1м}$ и теплопритока вследствие поглощения поверхностью ограждения теплоты солнечной радиации $Q_{1с}$, следовательно

$$Q_1 = Q_{1м} + Q_{1с}. \quad (7.4)$$

Теплоприток через ограждения вследствие разности температур снаружи и внутри камеры Q_{1m} равен сумме теплопритоков через наружные стены, перегородки, кровлю, пол.

Количество теплоты, Вт, проникающее через ограждение за счет разности температур можно определить по формуле

$$Q_{1m} = \frac{F}{R_0} \cdot (t_n - t_g), \quad (7.5)$$

где R_0 – термическое сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции, $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$;

F – площадь ограждения, м^2 ;

t_n и t_g – температура соответственно наружного воздуха и воздуха в камере, $^{\circ}\text{C}$.

Термическое сопротивление теплопередаче R_0 определяют по методике, изложенной в п. 7.3. Размеры поверхностей ограждения F определяют с учётом требований определения поверхностей ограждений для теплотехнического расчёта.

Величину теплопритока Q_{1m} определяют для наиболее жаркого периода в данной местности.

При расчете теплопритоков через внутренние стены между камерами наружная температура принимается равной температуре в соседней камере.

Рассчитывая приток теплоты через перегородку, отделяющую камеру от неохлаждаемого помещения, принимают расчетную разность температур равной 70 % от расчетной разности температур для наружных стен, если неохлаждаемое помещение сообщается с наружным воздухом, и равной 60 % от расчетной разности температур, если неохлаждаемое помещение не сообщается с наружным воздухом.

При расчете теплопритока через перекрытие, отделяющее охлаждаемую камеру от неохлаждаемого подвала, принимают расчетную разность температур равной 50 % от расчетной разности температур для наружных стен, если подвал не имеет окон, и 60 %, если подвал имеет окна.

При расчёте теплопритока через пол, расположенный на грунте и имеющий обогревательные устройства, вместо температуры наружного воздуха t_n в формуле (7.5) подставляется средняя температура слоя с нагревательными элементами t_{cp} .

Если пол, расположенный на грунте, не имеет обогревательных устройств, то теплоприток через пол определяется по зонам. При расчете пол разбивают на зоны шириной 2 м, начиная от наружных стен. Для каждой зоны принимают свой условный коэффициент теплопередачи. Теплоприток через заглубленные неизолированные части стен подземных помещений рассчитывается также по зонам, только отсчет зон начинается от уровня земли, а пол рассматривается как продолжение подземной части стены.

При расчете теплопритоков в камеру, расположенную рядом с другой, имеющей более низкую температуру воздуха, кроме положительных теплопритоков (поступление теплоты в камеру) будут отрицательные теплопритоки (потеря теплоты в соседнюю камеру с более низкой температурой). Нагрузку на камерное оборудование $Q_{1m.об}$ находят как сумму положительных теплопритоков в данную камеру (отрицательные значения теплопритоков принимают равными нулю).

Нагрузку на компрессор $Q_{1m.ком}$ рассчитывают как алгебраическую сумму теплопритоков через ограждения камеры, причем в зависимости от типа и назначения холодильника полученная величина учитывается полностью или частично.

Теплота солнечной радиации, Вт, определяется по формуле

$$Q_c = \frac{F}{R_0} \cdot \theta_c, \quad (7.6)$$

где R_0 – термическое сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции, $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$;

F – поверхность ограждения, которая находится под солнечным излучением, м^2 ;

θ_c – избыточная разность температур, характеризующая действия солнечной радиации, $^{\circ}\text{C}$, значения которой зависят от географической широты района строительства холодильника, ориентации ограждения по сторонам света и типа поверхности ограждения.

При расчете теплопритока на компрессор и на камерное оборудование учитывают теплоту солнечной радиации, поступающую через одну из стен и через кровлю здания холодильника. Стену выбирают, наиболее невыгодно ориентированную относительно сторон света или имеющую наибольшую поверхность, подвергающуюся облучению.

7.4.2. Теплоприток от продуктов (грузов) при их холодильной обработке

Продукты в камерах могут подвергаться охлаждению, домораживанию и замораживанию. При охлаждении температура продукта остается выше температуры замерзания жидкой фазы в продукте. При замораживании жидкая фаза в продукте замерзает. Домораживанию и доохлаждению подвергаются продукты, отеплившиеся в пути или первоначально не доведенные до конечной температуры.

Количество теплоты, Вт, отводимой от продукта при его термической обработке, можно определить по формуле

$$Q_2 = \frac{G' \cdot (i_1 - i_2) \cdot 10^6}{24 \cdot 3600}, \quad (7.7)$$

где G' – суточное поступление в камеру груза, подлежащего термообработке, т/сут;

i_1 и i_2 – энтальпия продукта соответственно до и после термообработки, кДж/кг, зависящая от вида продукта и его температуры.

Для отдельных процессов количество отводимой теплоты может быть определено следующим образом

$$Q_2 = \frac{G' \cdot c_1 \cdot (t_1 - t_2) \cdot 10^6}{24 \cdot 3600}, \quad (7.8)$$

где c_1 – теплоёмкость охлаждаемого продукта (груза), кДж/кг·°С;

t_1 и t_2 – температуры продукта (груза) соответственно до и после термообработки, °С

Количество теплоты, отводимой при замораживании продуктов (грузов), можно определить по формуле

$$Q_2 = \frac{G' \cdot 10^6 \cdot [c_1 \cdot (t_1 - t_{н.з}) + 335 \cdot w \cdot \omega + c_2 \cdot (t_{н.з} - t_2)]}{24 \cdot 3600}, \quad (7.9)$$

где $t_{н.з}$ – температура начала замерзания жидкой фазы, °С;

c_2 – теплоёмкость замороженного продукта, кДж/кг·°С;

335 кДж/кг – теплота плавления льда;

w – относительное содержание влаги в продукте;

ω – относительное количество вымороженной влаги в продукте при температуре конца процесса обработки t_k .

При домораживании продуктов

$$Q_2 = \frac{G' \cdot 10^6 \cdot [335 \cdot w \cdot (w_1 - w_2) + c_2 \cdot (t_1 - t_2)]}{24 \cdot 3600}, \quad (7.10)$$

где ω_1 – относительное количество замороженной влаги в продукте, соответствующее температуре t_1 , при которой продукт поступил на домораживание;

ω_2 – относительное количество замороженной влаги в продукте при средней конечной температуре после домораживания t_2 .

При охлаждении и хранении фруктов и овощей возникает дополнительный теплоприток от дыхания этих продуктов. Так называемое дыхание есть процесс разложения глюкозы, содержащейся во фруктах и овощах, с образованием газообразного диоксида углерода и выделением теплоты.

Теплоприток (теплоту реакции) при охлаждении и хранении фруктов и овощей, Вт, находят по зависимости

$$Q_{2p} = q'_{2p} \cdot G_1 + q''_{2p} \cdot G_2, \quad (7.11)$$

где q'_{2p} – удельное количество теплоты дыхания, выделяемое при охлаждении фруктов и овощей, Вт/т;

q''_{2p} – то же во время хранения, Вт/т;

G_1 – масса одновременно поступающих в камеру овощей и фруктов, т;

G_2 – масса хранящихся в камере охлаждённых овощей и фруктов, т.

Величины q'_{2p} и q''_{2p} зависят от вида овощей и фруктов и от температуры, при которой они находятся. Эти значения приводятся в специальной литературе (например, картофель выделяет при дыхании от 19,8 Вт/т при температуре 0°C до 44,2 Вт/т при температуре 20°C, а свекла соответственно от 19,8 до 212,8 Вт/т).

В связи с неравномерностью поступления грузов в холодильник, а также повышенным выделением теплоты продуктами в начальный период

охлаждения рекомендуется расчётный теплоприток на камерное оборудование увеличивать примерно на 30%, т. е. $Q_{2об} = 1,3 \cdot Q_2$.

При расчете нагрузки на компрессор $Q_{2ком}$ теплоприток от охлаждаемых или домораживаемых грузов вычисляется по максимальному суточному поступлению грузов во все помещения обслуживаемые компрессором.

В тех случаях, когда груз поступает в камеры из морозилок, теплоприток отсутствует, так как продукт поступает с температурой, равной температуре воздуха в камере хранения.

7.4.3. Теплоприток с наружным воздухом, подаваемым при вентиляции камер

Подаваемый в охлаждаемое помещение наружный воздух должен быть предварительно охлаждён до температуры воздуха в помещении, а содержание в нём влаги понижено до значения, соответствующего влажностодержанию воздуха помещения. Теплота, отводимая от наружного воздуха при такой его обработке, и составляет теплоприток Q_3 .

Вентиляция охлаждаемых помещений обычно обусловливается необходимостью создания нормальных условий воздушной среды для людей, работающих в этих помещениях, и технологическими требованиями к состоянию воздушной среды.

В некоторых производственных помещениях с умеренно низкими температурами приходится работать относительно большому числу людей. По санитарным нормам в такие помещения необходимо подавать наружный воздух из расчёта $20 \text{ м}^3/\text{ч}$ на одного работающего. Тогда теплоприток от этого воздуха, Вт

$$Q_3 = \frac{20 \cdot n_{\text{л}} \cdot \rho_{\text{в}} \cdot (i_{\text{н}} - i_{\text{в}}) \cdot 10^3}{3600}, \quad (7.12)$$

где $n_{\text{л}}$ – число людей, одновременно работающих в помещении, чел;

$\rho_{\text{в}}$ – плотность воздуха в охлаждаемом помещении, $\text{кг}/\text{м}^3$;

$i_{\text{н}}$ и $i_{\text{в}}$ – энтальпия соответственно наружного воздуха при расчётных условиях и внутреннего воздуха, $\text{кДж}/\text{кг}$.

Технологические нормы требуют вентиляции некоторых помещений для устранения запахов, удаления продуктов дыхания некоторых храня-

щихся грузов и т. д. В этом случае указывают необходимую кратность воздухообмена. В этом случае

$$Q_3 = \frac{V \cdot n \cdot r_v \cdot (i_n - i_v) \cdot 10^3}{24 \cdot 3600} \quad (7.13)$$

где V – строительный объем вентилируемого помещения, м^3 ;

$n = 1 \div 6 \text{ сут}^{-1}$ – кратность воздухообмена в сутки;

Величину теплопритока Q_3 принимают полностью на компрессор и на оборудование.

7.4.4. Эксплуатационные теплопритоки

Кроме перечисленных основных теплопритоков встречаются и другие теплопритоки, в частности связанные с обслуживанием охлаждаемых помещений, работой вентиляторов, освещения, выполнением погрузочно-разгрузочных работ и т. п. Рассмотрим некоторые из них.

Теплоприток от электрического освещения Q_4^I . Электрическая энергия, подводимая к светильникам, полностью превращается в теплоту. Если мощность светильников $N_{св}$, Вт, находящихся в помещении известна, то

$$Q_4^I = N_{св} \cdot \eta_{одн}, \quad (7.14)$$

где $\eta_{одн}$ – коэффициент одновременности включения осветительных приборов, принимаемый равным $0,5 \div 0,7$ для складских помещений и 1 для производственных.

При проектировании холодильников

$$Q_4^I = q_4^I \cdot F \cdot \eta_{одн}, \quad (7.15)$$

где q_4^I – норма мощности освещения, отнесённая к площади пола помещения, $\text{Вт}/\text{м}^2$. Для складских и производственных помещений $q_4^I = 5 \div 8 \text{ Вт}/\text{м}^2$;

F – площадь пола помещения, м^2 .

Теплоприток от двигателей Q_4^{II} . В охлаждаемом помещении могут работать какие-либо механизмы (машины), вентиляторы в системах воздушного охлаждения, мешалки насосы и т. п. Работа электродвигателей этих механизмов и машин в конечном итоге превращается в теплоту, которая должна быть отведена от охлаждаемого помещения.

Если электродвигатель находится в охлаждаемом помещении, то и полезная работа и потери в самом двигателе, превращаясь в теплоту, передаются воздуху помещения. Поэтому

$$Q_4^{\text{II}} = \sum N_{\text{дв}} \cdot 10^3 \cdot \eta_{\text{одн}}, \quad (7.16)$$

где $\sum N_{\text{дв}}$ – суммарная мощность работающего оборудования, кВт;
 $\eta_{\text{одн}}$ – коэффициент одновременности работы оборудования.

В тех случаях, когда двигатели установлены вне охлаждаемого объёма, теплоприток создаётся в результате превращения в теплоту только полезной работы находящегося там оборудования. Тогда

$$Q_4^{\text{II}} = \sum (N_{\text{дв}} \cdot \eta_{\text{дв}}) \cdot 10^3 \cdot \eta_{\text{одн}}, \quad (7.17)$$

где $\eta_{\text{дв}}$ – коэффициент полезного действия двигателя.

Теплоприток от людей, работающих в помещении Q_4^{III} . Теплопритоки от пребывания людей в камере определяют, исходя из того, что тепловыделение одного человека с учётом влаговыделения при средней интенсивности работы составляет 350 Вт/чел. Тогда теплоприток в камеру, Вт, определится как

$$Q_4^{\text{III}} = 350 \cdot n_{\text{л}}, \quad (7.18)$$

где $n_{\text{л}}$ – число людей, одновременно работающих в помещении, чел. Для камеры площадью до 200 м² число работающих можно принять 2÷3 человека, для больших камер – 3÷4.

Теплоприток из смежных помещений через открытые двери Q_4^{IV} . При открывании дверей в смежные помещения с более высокой температурой в охлаждаемое помещение попадает воздух, приносящий с собой избыточную теплоту и влагу.

Теплоприток при открывании дверей в охлаждаемые помещения, Вт, в соответствии с рекомендациями рассчитывают по выражению

$$Q_4^{IV} = \beta \cdot q_{\partial n} \cdot F_{\partial n} \cdot (1 - \eta) \cdot 10^3, \quad (7.19)$$

где $q_{\partial n}$ – плотность теплового потока, среднего за время грузовых операций, отнесённого к площади дверного проёма при отсутствии средств тепловой защиты, кВт/м²;

$F_{\partial n}$ – площадь дверного проёма, м²;

β – коэффициент, учитывающий длительность и частоту проведения грузовых операций, $\beta = 0,15$ для камер хранения производственных холодильников, $\beta = 0,3$ для камер хранения распределительных холодильников, $\beta = 1,0$ для камер холодильной обработки;

η – коэффициент эффективности снижения теплопритоков при использовании средств тепловоздушной защиты дверного проёма, для воздушной завесы $\eta = 0,6$, для теплового шлюза (тамбура с самозакрывающимися дверьми) $\eta = 0,8$, для тепловоздушного затвора (тамбура с самозакрывающимися дверьми в сочетании с воздушной завесой) $\eta = 0,95$.

Величина $q_{\partial n}$, кВт/м², для наружных дверных проёмов может быть определена по эмпирической формуле

$$q_{\partial n} = 0,37L \cdot \rho_n \cdot (0,15 + 0,013\Theta_{\partial n}) \cdot (0,95\Theta_{\partial n} + 2,5\Delta d \cdot 10^6), \quad (7.20)$$

где L – коэффициент, учитывающий изменение теплового потока при длительном открывании дверного проёма, который принимается в зависимости от площади охлаждаемого помещения $L = 0,75$ при площади помещения $F < 120$ м², $L = 0,7$ при $120 \leq F \leq 450$ м², $L = 0,6$ при $F > 450$ м²;

ρ_n – плотность наружного воздуха, кг/м³;

$\Theta_{\partial n} = t_n - t_e$ – температурный перепад в дверном проёме, °С, между температурой наружного t_n и внутреннего t_e воздуха;

Δd – разность влагосодержаний наружного воздуха и воздуха охлаждаемого помещения, кг/кг.

Для внутренних дверных проёмов величина $q_{\partial n}$ может быть определена по графикам, приводимым в литературе, в зависимости от значений $\Theta_{\partial n}$, F и типа охлаждаемых помещений.

При расчёте нагрузки на компрессор $Q_{4ком}$ учитывают, что на предприятии все эксплуатационные теплопритоки не могут возникать одновременно и поэтому

$$Q_{4ком} = (0,5 \div 0,75) \cdot (Q_4^I + Q_4^{II} + Q_4^{III} + Q_4^{IV}). \quad (7.21)$$

В нагрузку на камерное оборудование эксплуатационные теплопритоки учитываются полностью, так как в отдельном помещении вполне вероятно одновременное появление всех эксплуатационных теплопритоков, т. е.

$$Q_{4об} = Q_4^I + Q_4^{II} + Q_4^{III} + Q_4^{IV}. \quad (7.22)$$