

§ 97. ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВОДНОГО ЛЬДА

Льдотехника является частью холодильной техники, изучающей вопросы получения и применения различных видов льда. СССР принадлежит первое место в развитии льдотехники и внедрении ее в различные отрасли народного хозяйства. Наибольшее применение имеет естественный водный лед, который намораживают в зимних условиях. Заготовка и применение естественного льда не требует больших затрат и позволяет сэкономить большое количество металла и электроэнергии. Искусственный лед применяют главным образом в южных районах страны, где по климатическим условиям не удастся наморозить естественный лед.

Физические свойства водного льда при температуре 0° и давлении $0,098 \text{ Мн/м}^2$ следующие:

Температура плавления	0°C
Теплота плавления	$333,2 \text{ кдж/кг}$
Теплоемкость	$2,09 \text{ кдж/кг}\cdot\text{град}$
Теплопроводность (в среднем) . . .	$2,326 \text{ вт/м}\cdot\text{град}$
Плотность	900 кг/м^3

При превращении воды в лед объем ее увеличивается на 9%. Использование водного льда основано на свойстве его плавиться при температуре 0° , отнимая при этом от окружающей среды тепло, равное теплоте плавления. Тепло, потребное для превращения 1 кг льда с температурой $t_{\text{л}}^\circ\text{C}$ в воду с температурой $t_{\text{в}}^\circ\text{C}$, складывается из трех компонентов: тепла, расходуемого на нагревание льда от $t_{\text{л}}^\circ\text{C}$ до температуры плавления, тепла, требующегося на плавление льда, и тепла, расходуемого на нагревание полученной воды от температуры плавления до конечной температуры воды $t_{\text{в}}^\circ\text{C}$:

$$q = 2,09 t_{\text{л}} + 333,2 + 4,186 t_{\text{в}} \text{ кдж/кг.} \quad (205)$$

Определение количества льда, которое можно наморозить в течение времени τ , определяют из теплового баланса замерзания и таяния льда, отнесенного к 1 м^2 плоской поверхности теплообмена, выраженного формулой

$$r\delta = k\Theta\tau, \quad (206)$$

где r — теплота замерзания воды или таяния льда, дж/кг ;

ρ — плотность льда, кг/м^3 ;

δ — толщина слоя, м ;

k — коэффициент теплопередачи замерзшего слоя, $\text{вт/м}^2 \cdot \text{град}$;

Θ — температурный напор, $^{\circ}\text{C}$;

τ — продолжительность процесса, сек .

Продолжительность наморозки или таяния плоского слоя льда в секунду при условии одностороннего теплообмена определяют по формуле Р. Планка:

$$\tau = \frac{r\rho}{\Theta} - \delta \left(\frac{\delta}{2\lambda} + \frac{1}{\alpha_n} + \frac{1}{\alpha_v} \right), \quad (207)$$

где λ — теплопроводность льда, $\text{вт/м} \cdot \text{град}$;

α_n — коэффициент теплоотдачи на наружной поверхности слоя, $\text{вт/м}^2 \cdot \text{град}$;

α_v — коэффициент теплоотдачи на поверхности слоя, обращенного к воде, $\text{вт/м}^2 \cdot \text{град}$.

Продолжительность замораживания воды в льдоформах определяют с учетом отношения объема воды $V \text{ м}^3$ к охлаждаемой поверхности F при $\alpha_0 = \infty$.

$$\tau = \frac{r\rho}{\Theta} \cdot \frac{V}{F} \left(\frac{\delta_m}{2\lambda} + \frac{1}{\alpha_n} + \frac{\delta_\phi}{\lambda_\phi} \right), \quad (208)$$

где δ_m — расстояние от охлаждаемой поверхности до наиболее удаленной от нее точки замораживаемого объема воды, м ;

δ_ϕ — толщина стенки льдоформы, м ;

λ_ϕ — коэффициент теплопроводности материала стенки льдоформы, $\text{вт/м} \cdot \text{град}$.

§ 98. РАЗЛИЧНЫЕ СПОСОБЫ ЗАГОТОВКИ ЕСТЕСТВЕННОГО ЛЬДА

Существуют следующие способы промышленной заготовки естественного льда: 1) из водоемов; 2) послойным намораживанием и комбинированным способом; 3) намораживанием сосулек в градирнях.

Выбор способа заготовки льда зависит от климата в данной местности, технологических возможностей и назначения льда.

1. Заготовка льда из водоемов

Из водоемов получают прозрачный лед с плотностью 907—917 кг/м³. Водоем, предназначенный для выколки льда, должен иметь глубину не менее 0,75 м, достаточно чистую, незаболоченную воду и пологие, удобные для выемки льда берега. К выколке приступают в январе-феврале при толщине льда не менее 25 см. Толщину намороженного слоя льда определяют по эмпирической формуле:

$$\delta = 20 \sqrt{\Sigma\Theta}, \quad (209)$$

где δ — толщина намороженного слоя льда, см;

$\Sigma\Theta$ — сумма абсолютных значений сезонных среднемесячных отрицательных температур воздуха (°С·мес.), численно равная произведению средней температуры (из среднемесячных температур) на число месяцев.

Для получения более ровных блоков ледяное поле предварительно размечают на прямоугольники обычно размером 1,0×0,7 м, а затем приступают к выколке. Это трудоемкая и длительная операция, поэтому процесс выколки и выемки льда должен быть максимально механизирован.

Для резки льда применяют специальные дисковые пилы диаметром 900 мм, с мощностью электродвигателя 5 квт, смонтированные на саях; цепные передвижные пилы производительностью 2 м³ льда в минуту и т. д.

Лед вынимают вилочными автопогрузчиками и перемещают на специальных транспортерах.

Применение средств механизации снижает себестоимость льда, заготавливаемого из водоемов, но все же она остается выше, чем себестоимость льда, полученного намораживанием в бунтах. Недостаточно ровная поверхность блоков не позволяет плотно укладывать лед и приводит к дополнительным потерям льда (к таянию) при хранении вследствие большой площади соприкосновения льда с воздухом.

2. Заготовка льда послойным намораживанием на площадке и комбинированным способом

При послойном намораживании получают мутный лед плотностью 890—900 кг/м³.

Послойное намораживание в чистом виде применяют главным образом в холодной климатической зоне, где не менее 60 дней в году наблюдается температура не выше —10°. При таких условиях можно наморозить за зиму бунт высотой 3—4 м.

Площадка, выбранная для намораживания, должна быть расположена близко к источникам водо- и энергоснабжения и удалена от возможных источников загрязнения льда. Площадку планируют с уклоном 2 : 100 от середины к краям для отвода талой воды из-под ледяного массива, для этой же цели вокруг площадки на расстоянии 2,0—2,5 м от краев роют канаву глубиной 0,5—0,75 м.

На площадку насыпают слой шлака 15—20 см и наверху делают настил из старых шпал или досок (горбылей). При наступлении морозов по краям площадки ставят борты и наливают воду слоем 4—5 мм по всей площадке. Следующий слой воды наливают после промерзания предыдущего слоя.

Высота бунта в см, намораживаемого за сутки, определяется в зависимости от скорости ветра w м/сек по формуле

$$\delta = \frac{1}{3} \Theta \left(1 + \frac{w}{2} \right), \quad (210)$$

а за месяц — по формуле

$$\delta = 10 \cdot \Theta \left(1 + \frac{w}{2} \right). \quad (211)$$

Понижение температуры на 1° при скорости ветра 1 м/сек увеличивает намораживаемый слой примерно на 0,5 см в сутки.

После намораживания льда на высоту установленных бортов (1—1,5 м) на поверхности его с отступом внутрь массива устанавливают новые борты таким образом, чтобы получить ступени шириной примерно в 1,5 раза больше их высоты. Источником воды служит городской водопровод или ближайший водоем, отвечающий санитарным требованиям и требованиям ГОСТ 2761—44. Площадку поливают водой с помощью брандспойтов или брызгальной установки Н. Т. Кудряшова (рис. 176). Работа брызгальной установки заключается в разбрызгивании форсунками воды для полива площадки. Воду под напором подают по подземному трубопроводу, уложенному на глубине примерно 2 м, к составным стоякам высотой 2—6 м, заканчивающимся форсунками. Форсунки применяют с диаметром кольцевого сечения 8 и 13 мм, производительностью 0,7 л/сек и диаметром 10 и 16 мм, производительностью 1,5 л/сек при избыточном давлении воды перед форсунками 0,098 Мн/м².

Подачей воды управляют из утепленной будки, в которой расположен пульт управления. Стояки ставят для бунтов до 1000 м³ льда на расстоянии 6 м один от другого, для бунтов больших размеров — на расстоянии 10 м. Замена разбрызгивания распылением позволяет добиться замерзания воды в воздухе и осуществить не периодическое намораживание, а непрерывное.

В средней климатической зоне послойное намораживание на площадке не обеспечит достаточной высоты бунта, поэтому

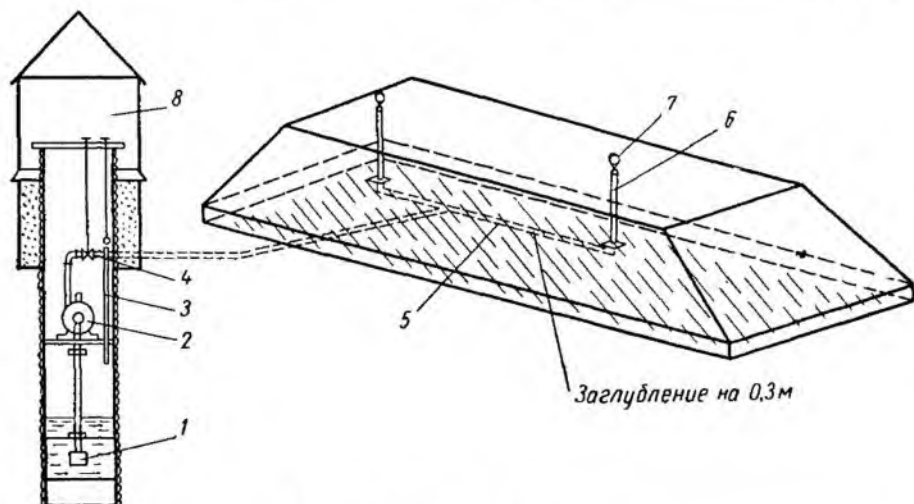


Рис. 176. Брызгальная установка Н. Т. Кудряшова:

1 — фильтр; 2 — насос; 3 — сливная труба; 4 — трехходовой кран; 5 — коллектор; 6 — стояки; 7 — форсунки; 8 — утепленный колодец

его применяют в комбинации с другими способами намораживания льда. Например, некоторое количество льда намораживают на вспомогательных площадках, затем его скалывают, дробят, добавляют в основной бунт, где он смораживается в общий ледяной массив. В качестве таких добавок можно использовать лед, полученный из водоемов, замороженный в градирне и т.д. Комбинированный способ может быть применен и для северной зоны с целью ускорить процесс намораживания. Возможность загрязнения льда при хранении, слоистость и мутный вид льда, трудоемкость выколки являются существенными недостатками намораживания льда в бунтах.

К достоинствам этого способа получения льда следует отнести сравнительно небольшие потери льда от таяния благодаря единому массиву, незначительные затраты на заготовку льда, отсутствие расходов, связанных с доставкой льда к потребителю (его заготавливают на месте потребления), возможность использования чистой водопроводной воды, что повышает санитарное состояние полученного льда.

В целом следует отметить, что это самый простой и дешевый способ заготовки льда.

Кроме обычного применения льда, выкалываемого из бунта, ВНИХИ разработал метод стаивания льда в бункере рециркулирующей холодной водой, которая является в данном случае холодоносителем. Лед намораживают на бетонной площадке с приямком.

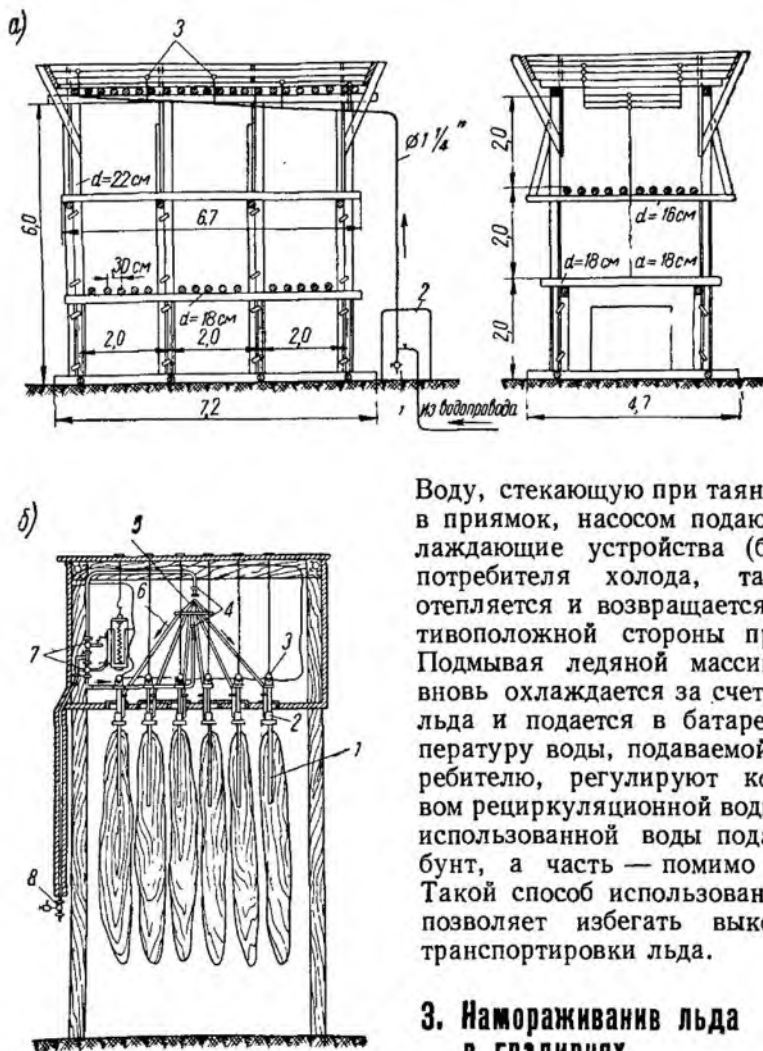


Рис. 177. Намораживание льда в градирнях:

а — градирня этажерочного типа: 1 — спускной кран; 2 — теплое помещение; 3 — форсунки; 4 — автоматическая градирня Клейменова; 5 — стальные трубы; 6 — воронка; 7 — подвеска; 8 — форсунки; 9 — гофрированный шланг; 10 — резиновый шланг; 11 — вентили подачи воды; 12 — общий вентиль подачи воды

Воду, стекающую при таянии льда в приямок, насосом подают в охлаждающие устройства (батареи) потребителя холода, там она отепляется и возвращается с противоположной стороны приямка. Подмывая ледяной массив, вода вновь охлаждается за счет таяния льда и подается в батареи. Температуру воды, подаваемой к потребителю, регулируют количеством рециркуляционной воды, часть использованной воды подают под бунт, а часть — помимо бунта. Такой способ использования льда позволяет избегать выколки и транспортировки льда.

3. Намораживание льда в градирнях

Намораживание льда в градирнях применяют в южных районах страны со сравнительно теплыми зимами, где температура не бывает ниже -2° — -3°C . Градирня представляет собой двух- или трехъярусное сооружение этажерочного типа, в котором вместо

полок уложены жерди на расстоянии 25—30 см одна от другой (рис. 177,а). В верхней части градирни смонтировано оросительное устройство, состоящее из трубопроводов с вертикальными насадками, имеющими разбрызгиватели. В оросительное устройство подают водопроводную воду, которая, стекая по жердям тонкой пленкой, замерзает в виде сосулек. Вода, не замерзшая на жердях верхнего яруса, замораживается на жердях среднего и нижнего ярусов, а оставшаяся сливается вниз и расходуется на рециркуляцию. Иногда градирню ставят над ледяным бунтом, тогда рециркуляцию не применяют. Подачей воды управляют из утепленной будки.

По мере увеличения размеров сосульки смерзаются друг с другом, образуя ледяную массу. За 3—4 дня льдом заполняется 60% полного объема градирни. Затем сосульки скалывают, это является довольно трудоемким процессом. В градирнях конструкции И. А. Клейменова (рис. 177,б) сосульки намораживаются на трубчатых электронагревателях, включаемых в работу при намораживании определенного количества льда, и скалывание сосулек происходит автоматически. Лед, полученный в градирнях, не требует особых затрат труда на дробление, но при хранении дает большой процент таяния.

Себестоимость заготавливаемого льда складывается из стоимости подготовительных работ, рабочей силы, материалов и воды. Себестоимость 1 м³ льда, заготовленного из водоемов, примерно в 5—6 раз выше стоимости льда, намороженного послойно, поэтому дальнейшее снижение себестоимости естественного водного льда возможно при заготовках главным образом намораживанием в бунтах с более широким применением автоматизации полива воды и механизации выколки льда или ставанием льда непосредственно в бунте.

§ 99. ЛЬДОХРАНИЛИЩА

Льдохранилища служат для хранения заготовленного льда в теплое время года и должны: 1) предохранять лед от действия на него окружающего теплого воздуха и атмосферных осадков; 2) обеспечивать отвод талой воды и атмосферных осадков, не допуская намочания изоляции, и удобный доступ ко льду для его выемки; 3) создавать санитарные условия при хранении льда; 4) быть безопасными в противопожарном отношении; 5) иметь невысокую стоимость.

Льдохранилища бывают временные и постоянные.

Временные льдохранилища представляют собой бунты льда, намороженные на площадке или выложенные из блоков льда, заготовленного из водоемов (рис. 178).

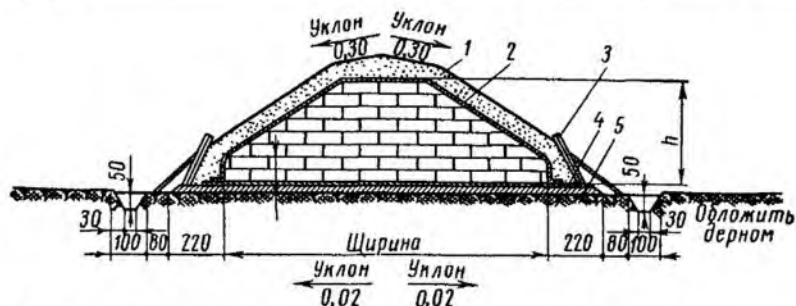


Рис. 178. Льдохранилище временного типа с однобортным основанием:
 1 — древесные опилки со стружками слоем 60—80 см; 2 — соломенные маты (5—10 см); 3 — подпорный щиток из горбылей или досок; 4 — хворост или старые доски толщиной 10 см; 5 — шлак, гравий или песок слоем 10 см

Вокруг бунта делают канавы для отвода талой воды, сверху и с боков ледяной массив укрывают соломенными и камышовыми матами, соломой, опилками, по периметру массив ограждают бортом из врытых в землю стоек высотой 1,5 м, которые обшивают горбылями, досками или плетнем. С торцевой северной стороны в борту оставляют проем шириной 3—6 м для проезда при выборке льда из бунта. Такие льдохранилища называют льдохранилищами с однобортным основанием, в отличие от льдохранилищ с безбортным основанием. Льдохранилища с однобортным основанием не допускают сползания изоляции с ледяного массива, но в то же время при выемке льда между льдом и изоляцией образуется воздушная прослойка, которая ускоряет таяние льда. В южных районах над бунтами устраивают соломенные навесы. Большие бунты имеют по периметру пятиметровые деревянные стены с земляными откосами.

Толщину изоляционного слоя укрытия практически принимают в северной зоне равной 50—75 см, в средней — 75—100 см.

Постоянные льдохранилища выполняют в виде капитальных сооружений с постоянной изоляцией.

Коэффициент теплопередачи изолированных ограждений принимают равным $0,46 \text{ вт/м}^2 \cdot \text{град}$.

Постоянные льдохранилища дороги, поэтому их применяют главным образом в южных районах для хранения сравнительно небольших запасов льда. Льдохранилище должно иметь отвод талой воды и механизированную погрузку и выгрузку льда.

Льдохранилище следует эксплуатировать так, чтобы были наименьшие потери льда. С этой целью лед нужно выкалывать рано утром или вечером, с северной стороны, равномерно по всей высоте бунта небольшими уступами сверху вниз, применяя для этого отбойные молотки, электропилы или используя взрыв. После выколки бунт тщательно укрывают изоляционным материалом и матами. Льдохранилище должно быть снабжено противопожарным инвентарем.

§ 100. ПОЛУЧЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ВОДНОГО ЛЬДА

Искусственный лед получают намораживанием воды в льдогенераторах различных конструкций. Лед заготавливают главным образом из водопроводной воды, которая должна иметь жесткость не более 40° , сухой остаток — не более 1 г/л, общее количество бактерий не должно превышать 100 (при посеве в 1 мл), количество кишечных палочек — не более трех в 1 л.

Искусственный лед производят главным образом в южных районах, где по климатическим условиям получение естественного водного льда затруднено. Стоимость искусственного водного льда в 4—5 раз выше стоимости естественного льда.

В зависимости от формы и способа намораживания лед подразделяют на плитный, блочный, цилиндрический, чешуйчатый, снежный. В зависимости от качества воды, используемой для изготовления льда, различают: 1) пищевой лед из кипяченой или сырой обработанной водопроводной воды; 2) промышленный лед из необработанной воды; 3) антисептический, рассольный лед и др. — из воды с различными добавками.

Искусственный водный лед применяют в пищевой промышленности, в торговле, в рыбной и химической промышленности, на транспорте.

Аппараты, в которых производят намораживание льда, называются льдогенераторами. К льдогенераторам предъявляют определенные требования: 1) непрерывность процесса получения льда; 2) автоматизация процесса; 3) простота устройства и обслуживания, надежность работы; 4) малая металлоемкость и малые габариты; 5) малая себестоимость льда.

Наиболее распространенными являются льдогенераторы блочного льда с рассольным охлаждением, но в последнее время новые конструкции льдогенераторов цилиндрического и чешуйчатого льда завоевывают прочное место в области получения искусственного льда.

§ 101. ЛЬДОГЕНЕРАТОРЫ БЛОЧНОГО ЛЬДА

Блочный лед получают путем замораживания воды в льдоформах, опущенных в изолированный бак, заполненный холодным рассолом. В качестве рассола обычно применяют раствор поваренной соли ($\rho=1,16—1,17$). В баке установлены испарительные секции, поддерживающие температуру рассола около -10°C , и мешалки для увеличения скорости его движения. Испаритель подключают к отдельной холодильной машине, работающей только на льдогенератор, или к холодильной машине, обеспечивающей холодом холодильник. Воду замораживают в формах из оцинкованной стали толщиной от 1 до 2,5 мм. Формам придают вид усеченной пирамиды для облегчения выемки льда и снабжают их ручками или соединяют стальными рамами с крюками для перемещения и выемки с помощью тельфера или электрокрана. Вес блоков льда бывает различен: 3,5; 12,5; 25; 50 кг.

В рассольных льдогенераторах (рис. 179) получают лед мутный плотностью $890—900 \text{ кг/м}^3$, используемый главным образом на технические нужды, и прозрачный плотностью $915—917 \text{ кг/м}^3$, применяемый главным образом в пищевой промышленности. Прозрачный лед при растворении не дает солевого остатка и не смерзается при хранении в мелких кусках.

Прозрачный лед получают путем перемешивания воды в льдоформах сжатым воздухом. При этом увлекаются пузырьки воздуха, растворенные в воде. Воздух подают в льдоформы под избыточным давлением $0,0147—0,0343 \text{ Мн/м}^2$ или $0,172—0,245 \text{ Мн/м}^2$. Соответственно способы получения прозрачного льда разделяют на производство льда при низком давлении и производство льда при высоком давлении. Для равномерного распределения воздуха между льдоформами в каждую трубу, по которой подается воздух, ставят дроссель. При производстве льда при низком давлении воздух в каждую льдоформу подают по сплошной или перфорированной металлической трубе диаметром 8 мм, опущенной посередине льдоформы примерно на $\frac{3}{4}$ глубины. По окончании замораживания трубки оттаивают паром и вынимают. При этом в центре блока остается непрозрачная сердцевина.

В льдогенераторах, работающих по системе высокого давления, трубки, по которым подают воздух, стационарно закреплены в канавке снаружи льдоформы и заканчиваются внизу в середине днища. Подача воздуха снизу вызывает лучшее перемешивание воды, отсутствие внизу солевого осадка, большую однородность и лучшее качество льда. Кроме того, отпадает необходимость в оттаивании и выемке труб.

Трубы, по которым поступает воздух в льдоформы, находятся вне их и соприкасаются с холодным рассолом, вследствие чего влага, содержащаяся в воздухе, может замерзнуть и образовать в

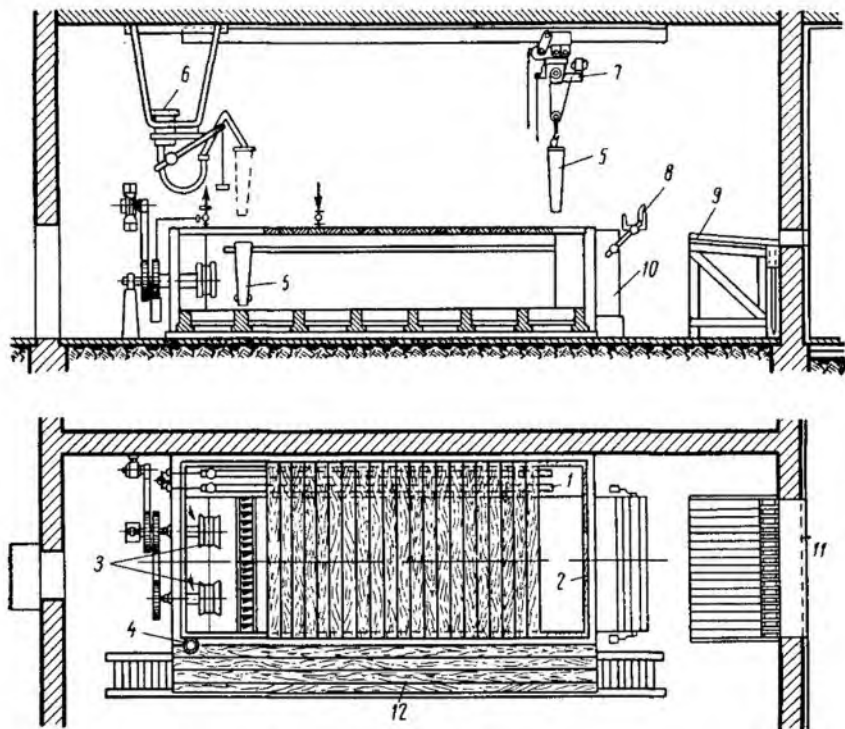


Рис. 179. Рассольный льдогенератор блочного льда:

1 — испарительные секции; 2 — бак; 3 — мешалка; 4 — толкающий механизм; 5 — льдоформы; 6 — наполнительное устройство; 7 — электротельфер; 8 — опрокидывающее устройство; 9 — льдоскат; 10 — оттаивательный бачок; 11 — льдохранилище; 12 — помост для обслуживания

трубках ледяные пробки. Поэтому подаваемый воздух должен быть предварительно осушен настолько, чтобы точка росы его была ниже температуры рассола.

Осушение производят в рассольном кожухозмеевиковом осушителе. Для уменьшения поверхности осушителя воздух, предварительно сжав до давления $0,172\text{--}0,245 \text{ Мн/м}^2$, охлаждают водой, при этом часть влаги из воздуха конденсируется. Затем воздух продувают через охлаждающие змеевики, на которых оставшаяся влага выпадает в виде снеговой шубы. В змеевиках циркулирует рассол с температурой -10°C . После осушения воздух пропускают через регулирующий вентиль, понижая давление до необходимого для преодоления сопротивления дросселя и образования в льдоформе льда примерно до $0,0685\text{--}0,0147 \text{ Мн/м}^2$.

В производстве прозрачного льда большое значение имеет

степень очистки воды от механических загрязнений и химических примесей.

Вода, полученная из пищевого льда, должна быть питьевой и отвечать требованиям ГОСТ 2874—49.

При получении технического прозрачного льда также необходимо соблюдать определенные санитарно-гигиенические требования так как при использовании льда возможен контакт его с пищевыми продуктами.

Для очистки воды применяют фильтры, сатураторы, отстойники и др.

Углекислый кальций, углекислый магний, железо и алюминий удаляют путем обработки воды известью $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$. Органические вещества, растворенные в воде, удаляют, добавляя к воде квасцы или сернокислый аммоний, которые наряду с известковой обработкой обеспечивают полную коагуляцию органических и неорганических веществ. Вещества, выпадающие в виде осадка или находящиеся во взвешенном состоянии (коагулированные хлопья) задерживаются при пропускании воды через фильтр с кварцевым песком. Добавление в воду квасцов и сернокислого аммония в количестве, большем, чем необходимо для коагуляции, уменьшает хрупкость льда и позволяет снизить температуру рассола в льдогенераторе. Очистка воды происходит в автоматизированных установках, снабженных дозирующими устройствами для подачи в воду определенного количества химикалий.

Кроме льда из обычной воды, получают блочный лед, обладающий определенными свойствами, например антисептический лед, широко применяемый в рыбной промышленности для увеличения срока хранения улова рыбы. Для получения такого льда в воду вводят концентрированный раствор гипохлорита. Средняя концентрация хлора, оставшегося после замораживания воды, составляет 50—80 мг/кг.

Льдогенератор снабжен водонаполнительными устройствами, которые заливают воду в льдоформы, и толкающим механизмом, перемещающим формы вдоль бака льдогенератора. Время нахождения льдоформ в баке должно соответствовать времени замораживания налитой в них воды. Ускорить процесс замораживания можно: 1) путем предварительного охлаждения воды в погружном или кожухозмеевиковом испарителе; 2) путем снижения температуры рассола с -10 до -15°C ; 3) путем недомораживания сердцевины блока на 10—15%. Понижение температуры рассола до -15°C ускоряет замораживание на 25%, но увеличивает хрупкость льда. Такой лед используют главным образом в дробленном виде. Как было указано выше, добавление в воду квасцов способствует уменьшению хрупкости.

После замерзания ряда форм их вынимают с помощью тельфера или мостового крана и опускают в сосуд для оттаивания. От

стенок льдоформ лед оттаивают путем погружения их на 2—4 мин в теплую воду с температурой 40—50 °С или орошением льдоформ, установленных в наклонном положении на льдоскат, водой с температурой +30÷+40°С. При этом потери льда составят от 0,5 до 2 мм на сторону. Оттаивание можно ускорить повышением температуры воды до +75°, продолжительность процесса сократится до 5—10 секунд.

После оттаивания льдоформы опрокидывают на льдоскат и готовые блоки отправляют в льдохранилище. Формы возвращают для заполнения водой и процесс повторяют.

В табл. 57 приведены типоразмеры рассольных льдогенераторов завода «Компрессор». Выбор концентрации зависит от поддерживаемой рабочей температуры рассола. При температуре рассола —10÷—12°С и температуре кипения холодильного агента —15÷—17°С температуру замораживания рассола принимают —20°С и соответственно удельный вес рассола 1,17. Концентрацию следует систематически проверять и поддерживать постоянной добавлением в рассол соли, так как в процессе эксплуатации рассол разжижается влагой воздуха и водой от льдоформ. Для уменьшения коррозии льдоформ и бака льдогенератора рассол должен быть чистым и прозрачным и иметь нейтральную реакцию (РН-6,5—7), которую поддерживают путем добавления в рассол антикоррозийных веществ и углекислоты.

Производство блочного льда в рассольных льдогенераторах имеет существенные недостатки: 1) не обеспечивается непрерывность и автоматизация процесса; 2) наблюдается большая коррозия оборудования (бака и льдоформ); 3) большой расход энергии и воды; 4) большая металлоемкость оборудования и большая занимаемая площадь; 5) сравнительная сложность обслуживания; 6) большие потери холода через ограждения льдогенератора при оттаивании льдоформ и т. д.

В связи с этим ведутся работы по внедрению в промышленность новых способов получения льда.

Блочный лед получают также в льдогенераторах непосредственного охлаждения с аммиачным или фреоновым охлаждением и неподвижными льдоформами.

Льдоформы имеют охлаждающие испарительные рубашки, в которых кипит холодильный агент. Льдогенераторы непосредственного испарения более экономичны, чем рассольные, так как требуют меньшего расхода металла и электроэнергии. Иногда льдоформы имеют, кроме наружных рубашек, внутренние испарительные трубки. Продолжительность замораживания 25 кг льда при температуре кипения —15°С составляет примерно 2 ч, т. е. в 6 раз меньше, чем в рассольном льдогенераторе. К таким льдогенераторам относится скороморозильная льдогенераторная установка системы Вильбушевича (рис. 180). Воду намораживают в льдофор-

Таблица 57

Типоразмеры рассольных льдогенераторов

Производство льда в одну загрузку, т	Общее количество льдоформ	Поверхность испарительных секций, м ²	Внутренние размеры бака, мм				Количество мешалок мощностью по 2,5 квт	Масса льдогенератора, кг
			Длина А	Ширина В		Высота		
				для льдоформ	для испарительной секции, С			

Формы массой по 12,5 кг (замораживание 8 ч)

1	10×8	2×6	3 300	1480	520		1	2 340
1,5	10×12	2×6	4 200	1480	520		1	2 935
2,0	10×16	2×7,5	5 100	1480	520		1	3 660
3,0	16×15	2×10	4 900	2370	520	1350	2	4 195
4,0	16×20	2×16	6 000	2370	520		2	5 000
5,0	16×25	2×17,5	7 150	2370	520		2	6 222
7,5	20×30	4×12,5	8 300	2890	520		2	8 160
10,0	20×40	4×15	10 600	2890	520		2	10 140

Формы массой 25 кг (замораживание 12 ч)

10	10×40	4×12,5	10 600	2394	520		2	8 635
15	15×40	4×15	10 600	3440	520		2	10 845
20	10×2×40	4×20	11 400	4794	520	1350	4	12 000
25	15×2×34	6×17,5	10 000	6886	775		4	14 000
30	15×2×40	8×17,5	11 400	6886	1030		4	16 000

Формы массой 50 кг (замораживание 16 ч)

30	10×2×30	6×17,5	14 950	4794	775		4	18 000
40	10×2×40	6×20	19 250	2794	820	1350	4	20 000
60	10×3×40	10×20	19 250	7194	1320		6	22 000

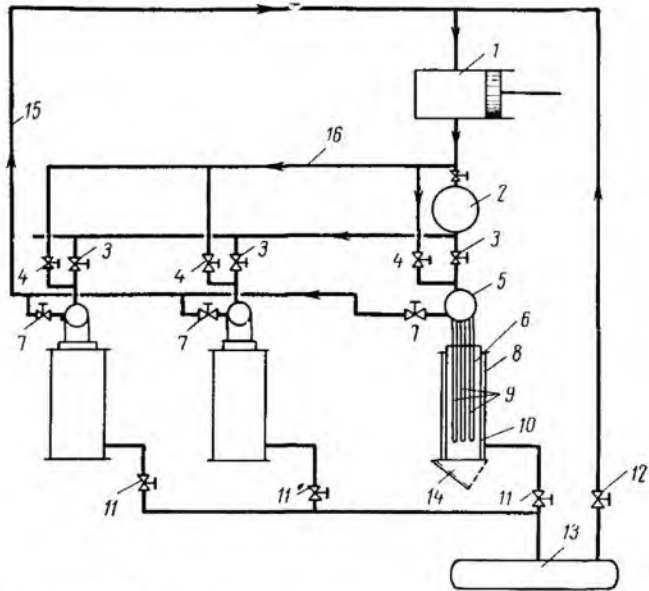


Рис. 180. Льдогенераторная скороморозильная установка блочного льда системы Вильбушевича:

1 — компрессор; 2 — конденсатор; 3 — регулирующий вентиль; 4, 7, 11, 12 — запорные вентили; 5 — распределитель; 6 — полость; 8 — полая льдоформа; 9 — испарительные трубки; 10 — полость испарительной рубашки льдоформы; 13 — ресивер; 14 — крышка льдогенератора; 15 — всасывающий трубопровод; 16 — трубопровод горячего пара

мах 8, имеющих снаружи испарительные рубашки 10, а внутри — испарительные трубки 9. Намораживание производят следующим образом. Закрывают крышки 14 и заполняют льдоформы водой. Затем открывают вентиль 3, закрывают вентиль 11 и жидкий аммиак из конденсатора 2 через регулирующий вентиль и распределитель жидкости 5 поступает в трубки 9 и полость 10. Через вентиль 7 образующийся пар отсасывается компрессором 1. После окончания намораживания закрывают вентили 3 и 7 и открывают вентили 4 и 11. Горячие пары по трубопроводу 16 поступают в трубки 9 и полость 10, вытесняя оттуда жидкий аммиак в ресивер 13.

Блок льда, оттаявший от стенок и трубок под влиянием собственного веса открывает крышку 14 и опускается на специальное устройство. Крышка 14 закрывается, форма заполняется водой, вентили 3 и 7 открываются и жидкий аммиак вновь поступает в испарительные трубки и в полость испарительной рубашки, и процесс повторяется.

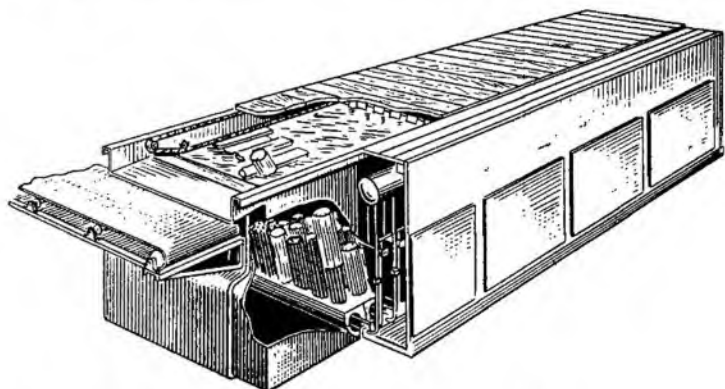


Рис. 181. Льдогенератор трубчатоблочного льда

Площадь, занимаемая льдогенератором Вильбушевича, примерно в 5 раз меньше площади рассольного льдогенератора такой же производительности.

Представляет интерес льдогенератор трубчатоблочного льда со всплывающими льдоблоками (рис. 181). В нижней части бака глубиной 2,7 м смонтированы теплоизолированные коллекторы с наклонными пучками испарительных труб, на которых намерзает вода, образуя 15—50-килограммовые ледяные трубчатые блоки. Продолжительность намораживания — 2—3 ч. После наморозки в трубы подают горячие пары холодильного агента, блоки всплывают на поверхность воды в баке, цепным конвейером проталкиваются к торцу бака и автоматически передаются на ленточный транспортер для выдачи льда.

Стоимость льда в таком льдогенераторе примерно на 30% меньше, чем в неавтоматизированном льдогенераторе с рассольным охлаждением.

§ 102. ЛЬДОГЕНЕРАТОРЫ ЧЕШУЙЧАТОГО И СНЕЖНОГО ЛЬДА

Снежный и чешуйчатый лед применяют в пищевой и рыбной промышленности, а также для других нужд. Малая толщина замораживаемого слоя позволяет максимально сократить время замораживания воды.

Снежный лед получают в льдогенераторах вертикального и горизонтального типов. Льдогенератор с вертикальной осью представляет собой полый цилиндр, окруженный охлаждающей рубашкой. В рубашку подают жидкий холодильный агент (фреон-12 или аммиак). На внутреннюю поверхность цилиндра насосом подают воду. Стекая, вода замерзает тонким слоем льда, который

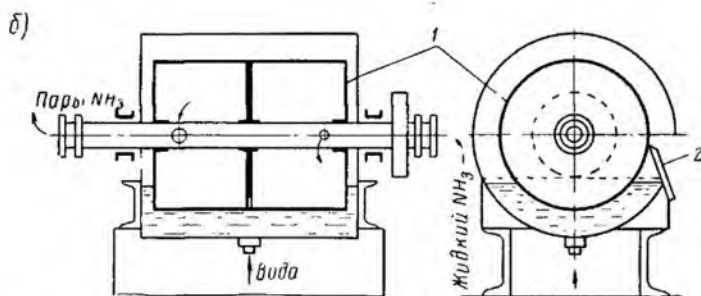
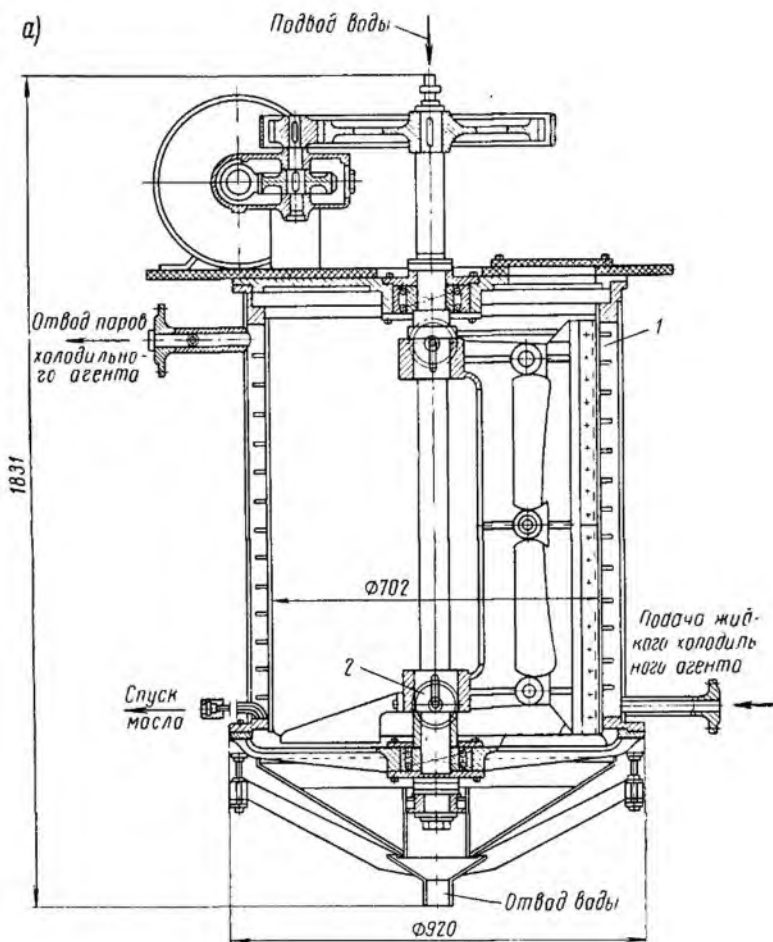


Рис. 182. Льдогенераторы чешуйчатого и снежного льда:
 а — снегогенератор Л-250 вертикального типа: 1 — испарительная полость цилиндра; 2 — вал с вращающимися ножами; б — горизонтальный льдогенератор чешуйчатого льда: 1 — стальной цилиндр-испаритель; 2 — неподвижный нож

срезается ножом, укрепленным на вертикальной вращающейся оси. Полученный лед вместе с водой падает в поддон, откуда поступает в производство или для изготовления брикетов.

Бийский завод «Молмашстрой» выпускает вертикальные снегогенераторы Л-250 производительностью 250 кг/ч (рис. 182,а). Эти льдогенераторы широко используют на судах рыбной промышленности для изготовления снежного и чешуйчатого льда из пресной или морской воды.

Техническая характеристика
льдогенератора Л-250:

Холодильный агент	Фреон-12
Производительность при $t_0 = -22^\circ \text{C}$. . .	(250 кг/ч) 0,0695 кг/сек
Поверхность льдообразования	1,96 м ²
Расход холода при $t_0 = -22^\circ \text{C}$ и $t_k = +20^\circ$	40 800 вт
Число оборотов ножевого вала	10 об/мин
Мощность электродвигателя	3 квт

Снежный лед не выдерживает хранения, поэтому должен быть немедленно использован или спрессован в брикеты. В связи с этим большое значение приобретает разработанная С. Л. Гимпелевичем снегоспрессовальная установка производительностью 250 кг снега в час. Установка состоит из шнекового снегопресса с питателем, формирующей насадкой и устройством для отламывания получаемых цилиндрических брикетов льда весом 5 кг. Полученные брикеты направляют по наклонным плоскостям в льдохранилище. Вода, выдвливаемая при прессовании из мокрого снега, вновь поступает в льдогенератор.

Горизонтальный льдогенератор снежного и чешуйчатого льда (рис. 182,б) состоит из вращающегося стального цилиндра, погруженного в ванну, наполовину наполненную водой. Цилиндр имеет длину 900 мм и наружный диаметр 700 мм. Через сальники с помощью полого вала к цилиндру с одной стороны подводят жидкий холодильный агент, с противоположной — отсасывают образующийся пар. Цилиндр приводят во вращение от электродвигателя через редуктор со скоростью 8—12 об/мин. Пленка льда толщиной 1—3 мм в виде сухих чешуек или влажной снежной массы срезается неподвижным ножом и направляется по наклонной плоскости в бункер.

Льдогенератор обслуживается холодильной установкой производительностью 46 600 вт. При температуре кипения около -20° производительность льдогенератора примерно 0,0555 кг/сек льда. Такие льдогенераторы под маркой АИЛ-200 выпускал Бийский завод «Молмашстрой». Находят применение горизонтальные льдогенераторы чешуйчатого льда с подачей в цилиндр холодного рассола, предварительно охлажденного в испарителе холодильной машины.

§ 103. ЛЬДОГЕНЕРАТОР ТРУБЧАТОГО ЛЬДА

Перспективным является получение пищевого прозрачного льда в виде цилиндриков небольшой длины. Цилиндрический лед используют в пищевой промышленности и для продажи населению. Его получают намораживанием воды внутри труб и на трубах. Расчеты производительности намораживания показывают, что наружное намораживание эффективнее внутреннего.

Внутри труб лед намораживают в полностью автоматизированных вертикальных кожухотрубных льдогенераторах с льдорезным устройством (рис. 183).

Такие льдогенераторы позволяют, кроме цилиндрического льда, получать трубчатый и скорлупный лед. В межтрубном пространстве льдогенератора кипит жидкий холодильный агент (аммиак) и образующийся пар отсасывается компрессором. В бесшовные трубы из нержавеющей стали длиной 3,5 м и диаметром 50 мм подают воду, которая, постепенно намораживаясь на внутренней поверхности труб, образует ледяные цилиндры. После окончания намораживания, которое продолжается около 40—45 мин, жидкий аммиак из испарителя перепускают в ресиверы, заполняя межтрубное пространство испарителя горячими парами, поступающими из компрессора. Ледяные цилиндры подтаивают и падают вниз, при этом автоматический нож разрезает их на цилиндрики определенной длины (обычно 50—150 мм). Выдавливание жидкости и оттаивание продолжается примерно 10 мин. Выгрузка и резка льда занимают примерно 1 мин. Продолжительность всего цикла намораживания при температуре кипения холодильного агента -10°C составит примерно 45—50 мин.

На время оттаивания конденсатор выполняет роль испарителя, а испаритель — роль конденсатора. После окончания оттаивания жидкий аммиак вновь перепускают из ресивера в меж-

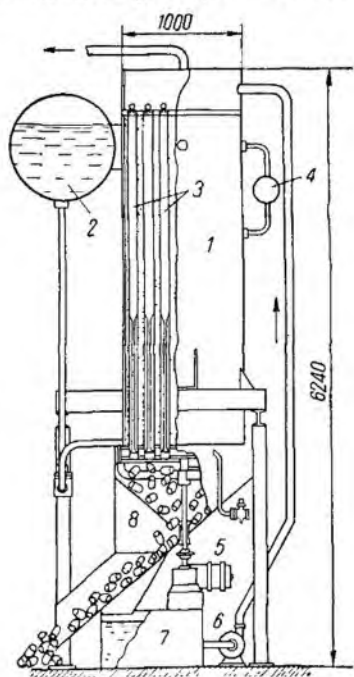


Рис. 183. Льдогенератор трубчатого льда:

- 1 — вертикальный кожухотрубный испаритель; 2 — ресивер для перепуска жидкого аммиака; 3 — трубки для намораживания воды; 4 — поплавковый регулирующий вентиль; 5 — вращающийся нож; 6 — водяной насос; 7 — бак для воды; 8 — льдоскат

трубное пространство испарителя и намораживание льда продолжается.

Льдогенератор трубчатого льда занимает примерно в 4 раза меньшую площадь и в 2 раза расходует меньше электроэнергии, чем льдогенератор блочного типа такой же производительности.

Крупные кожухотрубные льдогенераторы находят применение на рыбозаводах, а также используются в передвижных льдозаводах для снабжения льдом вагонов-ледников. Полученный трубчатый лед охлаждают воздухом с температурой -15°C и с помощью ленточного транспортера подают в льдохранилище, где он хранится при температуре -5° .

§ 104. ЗАВОДЫ ИСКУССТВЕННОГО ЛЬДА

Завод искусственного льда включает машинное отделение, где размещается холодильная установка, льдогенераторное отделение, льдохранилище, вспомогательные и служебные помещения.

Льдозавод может быть самостоятельным предприятием или может находиться при холодильнике на базе общего машинного отделения. Лед, полученный в льдогенераторе, поступает в льдохранилище.

Льдохранилище представляет собой изолированное помещение, оборудованное охлаждающими батареями, в котором поддерживают температуру воздуха около -5° .

Емкость льдохранилища принимают равной 10—15-суточной производительности льдозавода.

Оборудование льдозавода должно обеспечивать механизацию загрузки и выгрузки льда. С этой целью применяют цепные и ленточные транспортеры, наклонные плоскости, автопогрузчики, штабелеукладчики.

Экспедиция льдохранилища снабжается механизмами для распиловки, дробления и сортировки льда.

Подбор оборудования льдозавода и определение производительности холодильной машины производят на основе теплового расчета. Ниже приведен тепловой расчет льдозавода блочного льда и льдозавода трубчатого льда.

Исходными данными для теплового расчета льдозавода с расольным льдогенератором блочного льда служат: 1) производительность льдозавода G в кг; 2) масса блока g в кг; 3) температура нагретого воздуха t_n и охлаждающей воды t_w , в $^{\circ}\text{C}$.

Порядок расчета следующий:

1. Определяют необходимое количество льдоформ:

$$n = \frac{G(z_3 + z_0)}{24g}, \quad (212)$$

где G — суточная производительность льдозавода, кг;
 g — масса блока льда, кг;
 z_3 — продолжительность замерзания воды в формах, ч;
 z_0 — время, потребное для выемки формы из бака, освобождения ее от льда, заполнения водой и опускания в бак, которое можно принять равным 0,1—0,15 ч.

Продолжительность замерзания воды в форме можно определить по формуле

$$z_3 = \frac{Ab}{t_p} (b + B), \quad (213)$$

где b — малая сторона верхнего основания формы, м.

Размеры льдоформы выбирают в зависимости от выбранной массы блока льда по табл. 58;

t_p — температура рассола, °С;
 A, B — коэффициенты, зависящие от соотношения сторон ледовых форм (табл. 59).

2. В зависимости от массы блока льда, количества форм и производительности льдозавода подбирают бак льдогенератора.

3. Определяют суточный расход холода, который складывается из расхода холода на охлаждение и замораживание воды, охлаждение металла форм, на покрытие теплопритоков через ограждения льдогенератора и т. д. и может быть найден по формуле

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 + Q_7. \quad (214)$$

Расход холода на охлаждение воды до 0°, отнятие теплоты затвердевания и охлаждение льда до конечной температуры Q_1 *вт* определяют по формуле

$$Q_1 = G \cdot 1000 [4,186 \cdot 10^3 t_n + 333,2 \cdot 10^3 + 2,09 \cdot 10^3 (0 - t_n)] \times \\ \times \frac{1}{24 \cdot 3600}, \quad (215)$$

где G — суточная производительность льдозавода, *т*;

t_n — температура воды, заливаемой в формы, °С;
 $2,09 \cdot 10^3$ — теплоемкость льда, *дж/кг·град*;
 t_n — конечная температура льда, принимаемая на 2—3°С выше температуры рассола.

Расход холода на охлаждение металла льдоформ Q_2 *вт* составляет

$$Q_2 = \frac{G \cdot 1000}{g} \cdot g_{\phi} \cdot 4,1868 \cdot 10^2 (t_n - t_p) \cdot \frac{1}{24 \cdot 3600}, \quad (216)$$

где g — масса блока льда, кг;

g_{ϕ} — масса формы, кг;
 $4,1868 \cdot 10^2$ — теплоемкость металла, *дж/кг·град*;
 t_p — температура рассола, °С.

Начальную температуру формы принимают равной температуре наливаемой воды (t_n)°С.

Таблица 58

Размеры льдоформ в зависимости от массы блока льда

Масса блока льда, кг	Масса льдоформы, кг	Внутренние размеры, мм			Продолжительность замораживания при температуре рассола, -10°С, ч	Продолжительность оттаивания при температуре воды +35°, мин
		вверху	внизу	по высоте		
3,5	3,0	340×60	320×40	300	4	—
12,5	8,6	190×110	160×80	1115	8	2—4
25	11,5	260×130	230×110	1115	12	—
30	17,2	380×190	340×160	1115	16	—

Таблица 59

Значения коэффициентов А и Б

Отношение сторон	1	1,5	2	2,5	4
А	3120	4060	4540	4830	5320
Б	0,036	0,030	0,026	0,024	0,023

Расход холода на покрытие теплопритоков через ограждающие поверхности бака льдогенератора с учетом потерь через открытую крышку, составляющих 15%, Q_3 вт

$$Q_3 = 1,15 F_{\lambda} k_{\lambda,с} (t_{\lambda,п} - t_p), \quad (217)$$

где F_{λ} — поверхность бака льдогенератора, m^2 ;

$k_{\lambda,с}$ — средний коэффициент теплопередачи ограждения бака льдогенератора, $вт/m^2 \cdot град$;

$t_{\lambda,п}$ — температура льдогенераторного помещения, °С.

Потери при оттаивании блоков льда в оттаивательном сосуде Q_4 вт:

$$Q_4 = \frac{900}{g} f \delta Q_1, \quad (218)$$

где f — поверхность блока льда (для блока в 25 кг — примерно 0,75 m^2 , для блока в 50 кг — 1,25 m^2);

δ — толщина оттаявшего слоя льда (0,0015—0,002 м);

900 — плотность льда, $кг/m^3$.

Расход тепла на покрытие теплопритоков от работы мешалок Q_5 *вт*:

$$Q_5 = 1000 N_e, \quad (219)$$

где N_e — мощность, потребляемая мешалками, *квт*.

Расход холода на покрытие теплопритоков через ограждения льдохранилища Q_6 *вт*:

$$Q_6 = F_{л.х} k_{л.х} (t_n - t_{л.х}), \quad (220)$$

где $F_{л.х}$ — общая поверхность ограждений льдохранилища, *м²*;

$k_{л.х}$ — средний коэффициент теплопередачи ограждений льдохранилища, *вт/м²·град*;

t_n — температура наружного воздуха, °C;

$t_{л.х}$ — температура льдохранилища, примерно равная -5° C.

Теплопритоки от солнечной радиации, от горения лампочек в льдохранилище, пребывания людей, открывания дверей и т. д. Q_7 *вт*:

$$Q_7 = (0,1 - 0,15) Q_6. \quad (221)$$

Для примерных расчетов можно пользоваться приближенными данными и принять удельный расход холода на выработку 1 кг льда в соответствии со следующими данными (табл. 60).

Таблица 60

Удельный расход холода на выработку 1 кг льда

Производительность льдозавода, <i>т/сутки</i>	5	10	25	50	100
Расход холода на выработку льда, <i>кдж/кг</i>	630	585	565	545	502

Определив расход холода по льдозаводу, задаются продолжительностью работы холодильной машины в сутки — 20—22 ч и находят требуемую холодопроизводительность компрессоров Q_0 *вт*:

$$Q_0 = 1,05 Q \cdot \frac{24}{n}, \quad (222)$$

где Q — расход холода по льдозаводу, *вт*;

n — продолжительность работы холодильной машины в сут-
ки, ч;

1,05 — коэффициент, учитывающий потери холода в трубопроводах (5%).

Расчет льдогенераторов трубчатого льда

В расчет льдогенератора трубчатого льда входит определение теплопередающей поверхности льдогенератора и потребной холодопроизводительности компрессора.

При расчете необходимо знать: температуру кипения холодильного агента t_0 , температуру конденсации t_k ; продолжительность одного цикла замораживания τ в час, продолжительность работы льдогенераторов в сутки z часов, суточную производительность льдозавода G в кг, количество льдогенераторов n :

Часовая нагрузка льдозавода $G' \text{ кг/ч}$ равна:

$$G' = \frac{G}{z} . \quad (223)$$

Нагрузка одного цикла $G_1 \text{ кг/цикл}$:

$$G_1 = \frac{G'\tau}{n} . \quad (224)$$

Задаваясь диаметром кожуха льдогенератора D мм, количеством труб в льдогенераторе m , определяют длину труб льдогенератора в m :

$$H = \frac{G_1}{mg_B} , \quad (225)$$

где g_B — масса льда, намораживаемого льдогенератором на 1 м трубы с учетом процента оттаявшего льда по наружному диаметру.

Теплопередающая поверхность льдогенератора равна

$$F = \pi dHm . \quad (226)$$

Потребная холодопроизводительность компрессора складывается из: 1) холода, который требуется на изготовление льда; 2) добавочного холода на образование льда, подлежащего оттаиванию; 3) холода, предназначенного на охлаждение льдогенераторов после их подогрева, в процессе оттаивания; 4) потерь холода в окружающую среду.

Количество холода, необходимое для намораживания 1 кг льда, определяют по формуле

$$q = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 , \quad (227)$$

где q_1 — расход холода на охлаждение 1 кг воды от начальной температуры t_n до 0° , на замораживание воды и охлаждение льда от 0° до конечной температуры t_k , принимаемой -5°C , дж/кг ;

q_2 — расход холода на получение льда, который теряется при оттаивании ледяных стержней, дж/кг ;

q_3 — расход холода на охлаждение металла, конструкций льдогенератора, льдоформ и т. д., дж/кг ;

q_4 — потеря холода в окружающую среду через изоляцию, принимаемая равной 15% от суммы остальных расходов холода, дж/кг .

Необходимая холодопроизводительность компрессора для намораживания G' кг/ч льда равна:

$$Q_0 = qG' \cdot \frac{1}{3600} \quad (228)$$

Пример (по материалам ЦКБХМ). Известны следующие данные: $t_0 = -10^\circ\text{C}$; $t_k = +30^\circ\text{C}$; $\tau = 0,75$ ч; $z = 20$ ч; $G = 10$ т/сутки; $n = 3$. Требуется определить теплопередающую поверхность льдогенератора.

Решение

1. Часовая нагрузка трех льдогенераторов (223) равна

$$G' = \frac{10\,000}{20} = 500 \text{ кг/ч.}$$

2. Нагрузка одного цикла по формуле (224)

$$G_1 = \frac{500 \cdot 0,75}{3} = 125 \text{ кг/цикл.}$$

3. Принимая $D = 600$ мм и $m = 53$, находим длину труб по уравнению (225):

$$H = \frac{125}{53 \cdot 1,53} = 1,54 \approx 1,6 \text{ м,}$$

где g_b вычислен, исходя из внутреннего диаметра ледяной трубки 15 мм и оттаивания наружной поверхности на 1 мм. Плотность льда в расчете принята 0,9 кг/л

$$g_b = \frac{0,785(4,9^2 - 1,5^2) \cdot 100 \cdot 0,9}{1000} = 1,53 \text{ кг/м.}$$

4. При диаметре труб льдогенератора 55/51 теплопередающая поверхность одного льдогенератора составит

$$F = 14,7 \text{ м}^2.$$

Определяем холодопроизводительность компрессора.

5. Принимая начальную температуру воды $t_n = 20^\circ\text{C}$ и конечную температуру льда $t_k = -5^\circ\text{C}$, теплоемкость льда $c_d = 2,09 \cdot 10^3$ Дж/кг·град, определяем расход холода на получение льда (227)

$$q_1 = (4,1868 \cdot 20 + 333,2 + 2,09 \cdot 5) \cdot 10^3 = 428 \cdot 10^3 \text{ Дж/кг} = 428 \text{ кДж/кг.}$$

6. Расход холода на получение льда, теряемого при оттаивании ледяных стержней на 1 мм по наружному диаметру, составит:

$$q_2 = 428 \cdot \frac{5,1^2 - 4,9^2}{4,9^2 - 1,5^2} = 39,3 \text{ кДж/кг.}$$

7. Расход холода на охлаждение металла конструкций складывается из следующих элементов:

1) охлаждения кожуха:

$$Q_1 = 0,46 \cdot 234 \cdot 40 = 4320 \text{ кдж},$$

где $0,46 \cdot 10^3 \text{ дж/кг} \cdot \text{град}$ — теплоемкость стали;

234 — масса кожуха, кг;

40 — разность температур между температурой кожуха при оттаивании $+30^\circ\text{C}$ и при намораживании -10°C , град;

2) охлаждения труб и трубных решеток испарителя:

$$Q_2 = 0,46 (273 + 88) \cdot 30 = 5000 \text{ кдж},$$

где 273 — масса труб льдогенератора, кг;

88 — масса трубных решеток, кг;

30 — разность температур между температурой труб и решеток при оттаивании $+20^\circ\text{C}$ и при намораживании -10°C , град.

Общий расход холода на охлаждение конструкций льдогенератора за один цикл равен:

$$Q' = 4320 + 5000 = 9320 \text{ кдж},$$

а за 1 сек:

$$Q = \frac{3 \cdot 9320}{0,75 \cdot 3600} = 10,3 \text{ квт}.$$

8. Расход холода на охлаждение конструкций льдогенератора, отнесенный к 1 кг льда,

$$q_3 = \frac{10,3 \cdot 3600}{500} = 74,5 \text{ кдж/кг},$$

где 500 — производительность льдозавода в час, кг.

9. Потери холода в окружающую среду

$$q_4 = 0,15 (428 + 39,3 + 74,5) = 81,5 \text{ кдж/кг}.$$

10. Расход холода для замораживания 1 кг льда

$$q = 428 + 39,3 + 74,5 + 81,5 = 623,3 \approx 625 \text{ кдж/кг}.$$

11. Необходимая холодопроизводительность компрессора для намораживания 500 кг/ч $= 0,139 \text{ кг/сек}$ льда

$$Q_0 = 625 \cdot 0,139 = 87 \text{ квт} = 87000 \text{ вт}.$$

Принимают по табл. 5 компрессор АВ-75.

§ 105. ХОЛОДИЛЬНИКИ С ЛЕДЯНЫМ ОХЛАЖДЕНИЕМ

Ледники применяют для недолгосрочного сохранения пищевых продуктов в сельском хозяйстве и в быту. Ледник состоит из помещений для хранения груза и помещения для льда, за счет таяния которого и достигается охлаждение воздуха до температуры около $+5^{\circ}$, а при применении льдосоляных смесей — до температуры -12° С. Ледники делят в зависимости от их конструкции, назначения и запасов льда на: 1) ледники с долговременным запасом льда; 2) ледники с сезонным запасом льда; 3) ледники с кратковременным запасом льда; к ним относятся льдокарманные, воздуходувные и фригаторные холодильники.

Ледник с сезонным запасом льда представляет собой строительное деревянное сооружение небольших размеров, изолированное торфоплитами или опилками, обеспечивающее поддержание температуры воздуха в охлаждаемом объеме $4-8^{\circ}$ С и влажности 85—95%. Ледники бывают наземные и подземные, с верхним, центральным, боковым и нижним расположением льда (рис. 184). В настоящее время наиболее распространены наземные и подземные ледники с центральным расположением льда емкостью 5,8 и 12 т (рис. 184, а).

Льдохранилище 2, расположенное посередине, отделено от камер хранения 1 перегородками, имеющими сверху и внизу продухи — окна, перекрываемые шиберами. Через нижние продухи холодный воздух поступает в камеру хранения, через верхние — отепленный воздух возвращается для охлаждения в льдохранилище.

Для отвода талой воды льдохранилище имеет канализационную систему с гидравлическим затвором, чтобы теплый воздух не поступал в помещение.

В льдохранилище загружают, как правило, естественный лед из водоемов или из бунтов через специальные люки в задней стене ледника. Пространство между кусками засыпают дробленым льдом

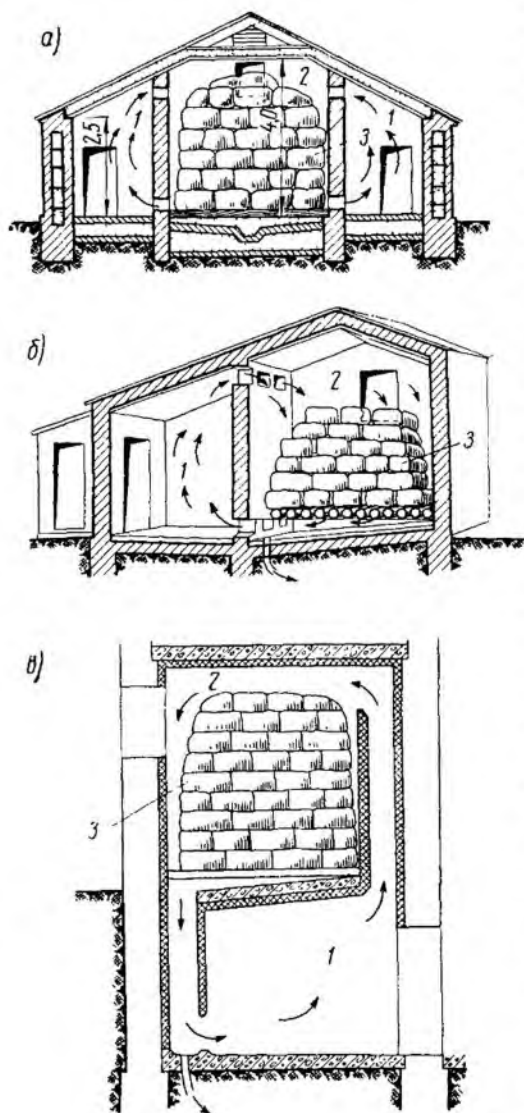


Рис. 184. Ледники:

а — с центральным расположением льда; б — с боковым расположением льда; в — с верхним расположением льда; 1 — камера хранения; 2 — льдохранилище; 3 — лед

и смораживают в общий массив для уменьшения поверхности льда, соприкасающейся с воздухом, и соответственно процента растаявшего льда. Емкость льдохранилища должна быть в 2,5—5 раз больше емкости камер хранения и зависит от размера ледника. В ледниках с боковым расположением льда (рис. 184, б) льдохранилище примыкает с одной стороны к камере хранения, циркуляция воздуха осуществляется через продухи в разделяющей их перегородке. Их строят в основном малых размеров, емкостью от 3 до 5 т. Ледники с нижним расположением льда выполняют в виде погреба, углубленного в землю, с засыпкой стен изоляцией, а сверху делают навес для защиты от солнечной радиации. Такие ледники применяют в небольших хозяйствах и используют в качестве льдохранилищ постоянного типа. Несмотря на простоту устройства, применение их ограничено тем, что они не обеспечивают хороших условий хранения груза. Холодный воздух, более тяжелый, остается внизу, в льдохранилище, а теплый остается в камере хранения,

поэтому часто продукты хранят, укладывая их на лед. Кроме того, затруднен отвод талой воды, так как льдохранилище заглублено.

Ледники с верхним расположением льда (рис. 184, в) требуют прочного перекрытия для укладки льда, защиты нижней поверхности перекрытия от конденсации на ней влаги. Поскольку усложнена загрузка льда в льдохранилища, последние в настоящее время не строят.

Расчет ледника состоит в определении необходимой площади камер хранения в зависимости от количества хранящегося груза, в определении теплопритоков в ледник и соответственно количества льда, которое обеспечило бы поддержание заданной температуры воздуха в камерах хранения.

На основании известного количества льда определяют размеры льдохранилища.

Площадь камер хранения устанавливают по нормам нагрузки на 1 м^2 площади камеры в зависимости от рода продукта:

$$F = \frac{G}{q_F}, \quad (229)$$

где G — количество единовременно хранящегося груза, кг;

q_F — норма нагрузки на 1 м^2 площади, равная примерно 200 кг/м^2 .

При выполнении calorического расчета принимают среднюю температуру наружного воздуха за период с апреля по сентябрь для северной полосы от 12 до 14°C , для средней полосы — $14 \div 16^\circ \text{C}$, для южной — от 16 до 20°C ; температуру почвы — соответственно до 8°C , от 8 до 10°C , от 10 до 12°C ; температуру в камере хранения $+4 \div 6^\circ \text{C}$ и в льдохранилище $0 \div 1,2^\circ \text{C}$.

Коэффициент теплопередачи ограждения ледника $k = 0,465 \div 0,7 \text{ вт/м}^2 \cdot \text{град}$.

Учитывают также охлаждение продуктов в леднике и теплопритоки при открывании дверей, принимаемые равными примерно 20% от теплопритоков через наружные ограждения. Расход льда за сезон $t/\text{сезон}$

$$G_{\text{л}} = \frac{\Sigma Q}{333,2 \cdot 10^6}, \quad (230)$$

где ΣQ — общий расход холода за сезон, дж/сезон ;

$333,2 \cdot 10^6$ — холодопроизводительность 1 т льда, дж/т .

Количество льда, загруженного в ледник, должно быть больше расчетного на 20% , тогда объем льдохранилища составит:

$$V = \frac{1,2 G_{\text{л}}}{0,9 \cdot 0,85} = 1,57 G_{\text{л}} \approx 1,6 G_{\text{л}}, \quad (231)$$

где $0,9$ — плотность льда, т/м^3 ;

$0,85$ — коэффициент заполнения льдохранилища.

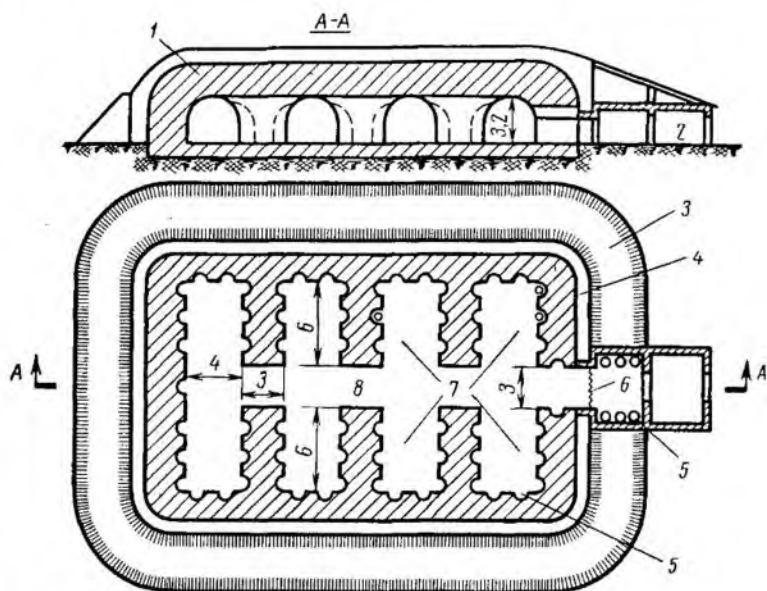


Рис. 185. Склад конструкции Крылова:

1 — ледяной массив; 2 — тамбур; 3 — земляная насыпь; 4 — теплоизоляция; 5 — льдосоляные карманы; 6 — двери; 7 — камеры; 8 — коридор

Льдохранилище набивают льдом в конце зимы, чтобы обеспечить минимальное таяние льда и сморозить отдельные блоки или куски льда в монолит. Загрузочные люки и двери плотно закрывают и открывают только при следующей загрузке. Ледники используют только в утреннее время, не допуская длительного открывания дверей или неплотного их закрывания. Талая вода должна немедленно и беспрепятственно отводиться. В камерах должно быть чисто, продухи между камерой и льдохранилищем должны быть открыты, в противном случае охлаждение прекратится. Ежегодно ледники ремонтируют, уделяя особое внимание состоянию изоляции.

§ 106. ЛЕДЯНЫЕ СКЛАДЫ

Ледяные склады — постоянные хранилища продуктов, выполненные из льда и снега. Представляют интерес ледяные склады Крылова (рис. 185), широко применяемые для хранения фруктов, рыбы. Эти склады целесообразно строить главным образом в холодной климатической зоне. Основанием склада служит лед, наморо-

женный в котловане глубиной 0,8 м. Внутри ледяного массива имеется продольный коридор шириной 3 м и высотой 3,2÷3,5 м со сводчатым потолком и 8—12 сводчатых камер площадью по 28—35 м². Для приема и выдачи грузов устроен деревянный двойной тамбур. Ледяная стенка вдоль склада имеет толщину 2 м с торца и между камерами — 3 м, своды из льда имеют толщину 2 м. Массив намораживают зимой путем полива водой опалубки, которую выполняют в виде кружал из труб, покрытых веревочной сеткой и рулонной оберточной бумагой. Намораживание можно производить также на временной деревянной опалубке. Снаружи массив изолируют торфом толщиной 1 м, опилками, матами и т. д. Нижний слой изоляции поливают и промораживают, чтобы уменьшить таяние основного массива в летнее время. При правильной изоляции можно почти полностью устранить подтаивание снаружи ледяного массива.

Изнутри склад охлаждают, посыпая ледяное поле солью, или с помощью льдосоляной смеси, загруженной в бочки, которые ставят в ниши ледяных стен склада. Температура воздуха внутри склада — около $-0,5^{\circ}$ С.

Так как теплопритоки компенсируются оттаивающим ледяным массивом, то каждую зиму требуется его подмораживать.

В настоящее время имеются ледяные склады с машинным охлаждением. Для их устройства не требуются строительные материалы и сооружение их обходится сравнительно дешево. Применение таких складов целесообразно при недостатке средств или строительных материалов для более капитальных холодильных сооружений.

Кроме ледяных складов Крылова, для недолгосрочного хранения продуктов используют более простые хранилища из льда и снега в виде ледяных и снежных буртов и площадок, которые применяют главным образом для хранения овощей.

§ 107. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЛЬДОСОЛЯНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ

Растворение некоторых солей в воде сопровождается понижением температуры рассола, вызванным тем, что теплота, необходимая для процесса растворения, отнимается от самого раствора. Замена воды дробленным льдом позволяет еще больше снизить температуру смесей, так как от смеси будет отниматься теплота растворения соли и теплота плавления льда. Для охлаждения обычно применяют смесь дробленого льда и технической поваренной соли (NaCl). Эта система находится в равновесии при температуре $-21,2^{\circ}\text{C}$ и концентрации соли в растворе 22,4%, что соответствует криогидратной точке.

Подвод тепла к льдосоляной смеси от окружающей среды вызывает плавление льда. Соль растворяется в воде и обволакивает пленкой куски льда и соли. Полученный рассол охлаждается за счет теплоты плавления льда и растворения соли. Температура льдосоляной смеси и ее холодопроизводительность зависят от количества соли, добавляемой ко льду (табл. 61). Кроме того, приближенно

Таблица 61

Характеристика льдосоляной смеси

Количество соли к массе льда, %	Температура таяния (плавления) смеси льда и соли, $^{\circ}\text{C}$	Холодопроизводительность 1 кг смеси (q_0), кдж/кг	Средняя плотность раствора при 15°C , кг/м ³
0	0	333	1,000
5	-3,1	314	1,031
10	-6,2	285	1,067
15	-9,9	260	1,098
20	-13,7	239	1,114
25	-17,8	214	1,152
30	-21,2	193	1,174

можно определить весовую холодопроизводительность 1 кг смеси льда и соли q_0 кдж/кг по формуле

$$q_0 = 333,2 + 4,186 t_{л.с.} \quad (232)$$

где $t_{л.с.}$ — температура льдосоляной смеси, которая может быть принята равной температуре замерзания рассола соответствующей концентрации.

Температура плавления смеси льда и поваренной соли может быть рассчитана по формуле

$$t_{л.с.} = -0,7 p [^{\circ}\text{C}], \quad (233)$$

где p — содержание соли в процентах к весу льда.

Плотность смеси льда и соли ρ кг/м³ определяют:

$$\rho = 500 + 5 p. \quad (234)$$

Коэффициенты теплоотдачи от воздуха к поверхности смеси льда и соли зависят от разности температур воздуха и смеси и интенсивности движения воздуха.

При естественной циркуляции они составляют (табл. 62):

Таблица 62

*Коэффициенты теплоотдачи от воздуха
к поверхности льдосоляной смеси*

Разность температур, θ °C	5	10	15
Коэффициент теплоотдачи (α), <i>вт/м²·град</i>	5,8	7	8,1

При увеличении скорости движения воздуха до 2—3 м/сек коэффициент теплоотдачи увеличивается в 2—3 раза.

§ 108. ХОЛОДИЛЬНИКИ С ЛЬДОСОЛЯНЫМ ОХЛАЖДЕНИЕМ

Для хранения сравнительно небольшого количества грузов можно использовать холодильники небольшой емкости с льдосоляным охлаждением.

Холодильники с льдосоляным охлаждением позволяют получить более низкие температуры воздуха, чем при ледяном охлаждении. Они занимают меньшую площадь и могут быть размещены в отдельно стоящем здании, в пристройке к зданию или в подвальном помещении. Камеры холодильника могут охлаждаться: 1) при непосредственном контакте воздуха с поверхностью льдосоляной смеси; 2) при циркуляции холодного рассола по змеевикам, установленным в охлаждаемых камерах (система «Фригатор» и система Клейменова);

3) при подаче в камеры холодного воздуха, предварительно охлажденного льдосоляной смесью.

Непосредственное охлаждение воздуха в камерах льдосоляной смесью выполняют с помощью решетчатых карманов, устанавливаемых вдоль наружных стен камеры и загруженных льдосоляной смесью. Карманы делают из горизонтальных деревянных брусков, к которым прибивают вертикальные планки сечением 25×50 мм². Под карманами устраивают поддоны с отводом сливающегося рассола в канализацию. Для усиления циркуляции воздуха рядом с карманом ставят деревянный щит, не доходящий до пола и потолка на 300 мм. Способ охлаждения камер путем устройства решетчатых карманов прост и дешев, но имеет ряд недостатков. При нем уменьшается полезная площадь камер, ослабляется циркуляция воздуха в камерах и повышается трудоемкость процессов загрузки карманов льдосоляной смесью.

Расчет решетчатых карманов состоит в определении их боковой охлаждающей поверхности по формуле

$$F_k = \frac{Q_0}{\alpha (t_b - t_0)}, \quad (235)$$

где F_k — боковая поверхность карманов, м²;

Q_0 — расход холода для данной камеры, вт;

α — коэффициент теплоотдачи, отнесенный к боковой поверхности решетчатых карманов, равный $9,3$ — $10,5$ вт/м²·град;

$t_b - t_0$ — разность температур циркулирующего воздуха и льдосоляной смеси, примерно равная 5 — 8° С.

Уменьшение охлаждающей поверхности карманов за сутки допускается не более, чем на 40%, поэтому действительные геометрические размеры боковой поверхности должны быть на 20% больше средней расчетной поверхности:

$$F = 1,2 F_k = \Sigma (b + l) \cdot 2h, \quad (236)$$

где b — ширина решетчатых карманов, равная $0,25$ — $0,35$ м;

l — длина решетчатых карманов (на $0,3$ м меньше длины камеры);

h — высота карманов.

Суточный расход смеси льда и соли G кг/сутки:

$$G = \frac{Q_0 \cdot 24 \cdot 3600}{q_0}, \quad (237)$$

где q_0 — холодопроизводительность 1 кг смеси льда и соли, определяемая по табл. 61.

Обслуживание карманов состоит в систематической загрузке их определенным количеством льда и соли, соотношение которых

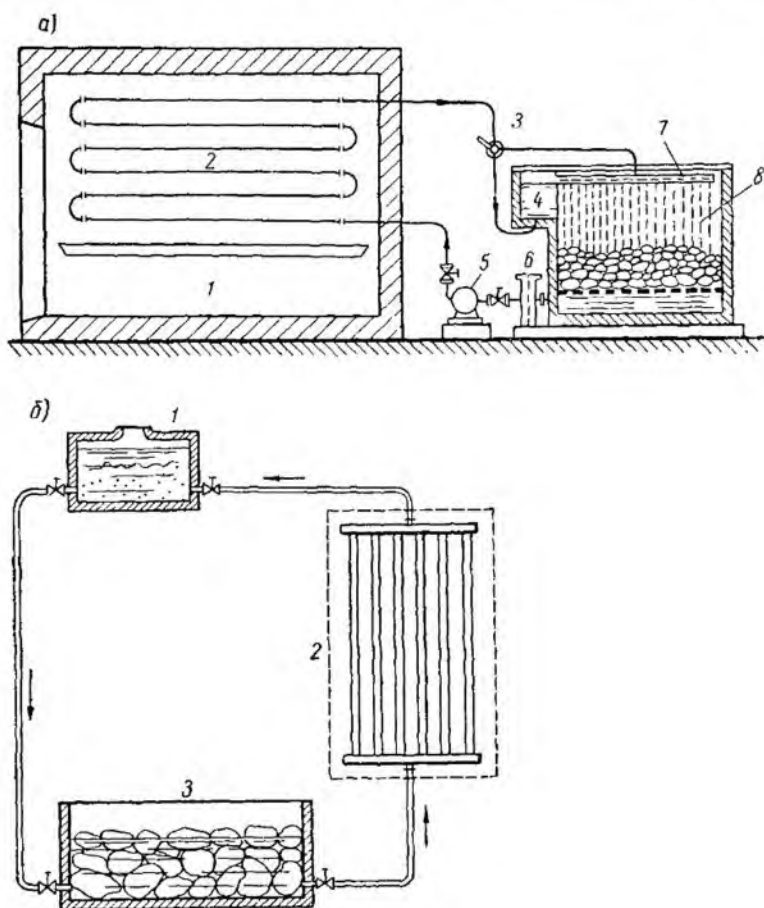


Рис. 186. Схемы рассольного льдосоляного охлаждения:

а — фригатор. 1 — охлаждаемое помещение; 2 — охлаждающие батареи; 3 — трехходовой кран; 4 — солеконцентратор; 5 — центробежный насос; 6 — фильтр; 7 — ороситель; 8 — генератор холода; б — схема Клейменова: 1 — солеконцентратор; 2 — охлаждающие батареи; 3 — генератор холода

определяется требуемой температурой, в очистке карманов от загрязнений и в наблюдении за сливом рассола из поддона.

Охлаждение камер по системе «Фригатор» (рис. 186, а) заключается в подаче рассольным центробежным насосом холодного рассола в охлаждающие батареи, установленные в камере. Рассол охлаждается в так называемом генераторе холода, который представляет собой изолированный, закрытый крышкой бак, разделенный горизонтальной решеткой, на которую загружают дробленый

лед. Сверху лед орошается рассолом, сливающимся из батарей. Проходя через лед, рассол охлаждается, разжижается и сливается в нижнюю часть бака. Для увеличения концентрации часть отепленного сливающегося рассола подается в солеконцентратор — бачок, наполненный солью, расположенный рядом с генератором холода и отделенный от него решетчатой стенкой. Холодный рассол вновь подают насосом в батареи, в которых он нагревается на 2—3° и на столько же градусов охлаждается в генераторе холода. Расчет системы «Фригатор» состоит в определении необходимой поверхности охлаждающих батарей, определении суточного расхода льда и соли и размеров бака льдогенератора.

Поверхность батарей определяют по формуле

$$F_6 = \frac{Q_0}{k\Theta}, \quad (238)$$

где Q_0 — расход холода для камеры, определяемый на основании калорического расчета, *вт*;

k — коэффициент теплопередачи батарей, *вт/м²·град*;

Θ — разность температур охлаждаемого воздуха и рассола, примерно равная 5—8° С.

Объем бака генератора холода V м³:

$$V = 0,0025 G. \quad (239)$$

Суточный расход льда и соли определяют по формуле

$$G = \frac{Q_0 24 \cdot 3600}{q_0}, \quad (240)$$

где q_0 — холодопроизводительность 1 кг льдосоляной смеси.

Охлаждение камер по системе инженера Клейменова (рис. 186, б) отличается тем, что рассол подается в батареи самоциркулирующей по системе. В схеме отсутствует рассольный насос и расход энергии на его работу. Самоциркуляция обеспечивается разницей в удельных весах теплого и холодного рассола, концентрированного и малоцентрированного. Рассол циркулирует по замкнутой системе, включающей генератор холода, солеконцентратор и рассольные батареи. Необходимым условием работы системы является герметичность солеконцентратора.

В генераторе холода рассол, соприкасаясь со льдом, охлаждается и разжижается. Удельный вес разжиженного рассола, несмотря на охлаждение, уменьшается и рассол поднимается вверх в батареи. Охлаждая воздух в камере, рассол теплеется, становится более легким и поднимается в солеконцентратор. Насыщаясь там солью, рассол становится тяжелым и стекает в холодогенератор для охлаждения. Благодаря герметичности солеконцентратора и непрерывного отвода из него рассола, в нем создается не-

которое разрежение, способствующее самоциркуляции. На стационарных установках эта система распространения не получила. Были попытки использовать ее для низкотемпературных изотермических поездов, но частые нарушения работы в процессе эксплуатации привели к тому, что производство вагонов, охлаждаемых по системе Клейменова, было прекращено.

Воздушное охлаждение камер льдосоляных холодильников производят путем подачи в камеры холодного воздуха, предварительно охлажденного в льдосоляном воздухоохладителе. Льдосоляной воздухоохладитель, или генератор холода, представляет собой изолированный бак, имеющий загрузочную шахту, через которую лед и соль поступают в пространство между двумя решетками, находящимися на расстоянии 200—300 мм друг от друга. Вентилятор продувает воздух через льдосоляную смесь, и охлажденный он поступает по воздуховоду в камеру, а отепленный из камеры отводится через всасывающий воздуховод. Для уменьшения длины воздуховода и уменьшения потерь холода льдогенератор размещают в непосредственной близости к охлаждаемой камере. Обслуживание системы состоит в загрузке генератора льдом и солью, удалении образующегося рассола, в наблюдении за работой вентилятора.

Льдосоляное охлаждение применяют для охлаждения шкафов, прилавков и ванн на предприятиях торговли и общественного питания.

Льдосоляное охлаждение целесообразно применять для холодильников в том случае, если дешевы лед и соль и площадь камер не превышает 100 м². Вопрос об экономичности применения льдосоляного охлаждения следует решать отдельно в каждом случае.

§ 109. ЭВТЕКТИЧЕСКИЙ ЛЕД

При замораживании водных растворов некоторых солей с концентрацией, соответствующей криогидратной точке, получают однородную смесь кристаллов льда и соли, называемую эвтектическим твердым раствором, или эвтектикой. Наиболее распространено применение эвтектического твердого раствора поваренной соли. Температура плавления этого раствора — 21,2°, теплота плавления — 236 кдж/кг.

Эвтектическим раствором заполняют запаянные наглухо формы, называемые зероторами, и замораживают в них раствор. Зероторы заполняют на 92—94% их объема. Формы могут быть плоскими, трехгранными или цилиндрическими емкостью 5—10 л. Для увеличения площади теплообмена поверхность делают гофрированной. Замораживание эвтектиков в зероторах производят в спе-

циальных камерах при температуре воздуха $-35\div-40^{\circ}$ С или в холодном рассоле. Продолжительность замораживания в воздухе — около 18 ч, в рассоле — 2—3 ч. Для увеличения теплоотдачи от зеротора к воздуху в камере создают принудительную циркуляцию воздуха, коэффициент теплоотдачи при этом возрастает с 9,3 до $17,5 \text{ вт/м}^2 \cdot \text{град}$. Зероторы с замороженным раствором помещают в охлаждаемую камеру или прилавок. После того как раствор расплавится и температура его несколько повысится, зероторы отправляют на повторное замораживание. Зероторное охлаждение нашло применение на транспорте, особенно для авторефрижераторов, а также для охлаждения небольших камер, шкафов и прилавков торгового типа.

Недостатками зероторного охлаждения являются зависимость от зероторных станций и большой объем грузовых работ, связанных с заменой использованных зероторов новыми.



§ 110. СУХОЙ ЛЕД И ИСТОЧНИКИ ЕГО ПОЛУЧЕНИЯ

Сухой лед представляет собой твердую углекислоту, которая обладает свойством сублимации, т. е. способностью переходить из твердого состояния в газообразное, минуя жидкое состояние. При давлении $0,1 \text{ Мн/м}^2$ температура сублимации твердой углекислоты равна $-78,9^\circ \text{ С}$, с понижением давления она также понижается. Переход в газообразное состояние связан с подводом к углекислоте тепла, которое она отнимает из окружающего воздуха.

Свойство углекислоты сублимировать обусловлено положением тройной точки ($t = -56,6^\circ \text{ С}$; $p = 0,516 \text{ Мн/м}^2$).

Как видно из диаграммы фазовых превращений углекислоты при давлении ниже $0,516 \text{ Мн/м}^2$, углекислота может находиться только в двух агрегатных состояниях—твердом или газообразном, поэтому нельзя получить жидкую углекислоту при давлении ниже $0,516 \text{ Мн/м}^2$. Плотность углекислоты зависит от давления, температуры и агрегатного состояния, в котором она находится. Плотность углекислого газа при 0° С и давлении $0,1 \text{ Мн/м}^2$ равна $1,977 \text{ кг/м}^3$.

Плотность твердой углекислоты колеблется от 1,3 до $1,6 \text{ кг/л}$ в зависимости от пористости, определяемой методом производства.

Теплота плавления твердой углекислоты или замерзания жидкой при параметрах тройной точки равна разности между тепловой сублимации 545 кдж/кг и теплотой парообразования, равной 348 кдж/кг , и составляет 197 кдж/кг .

При изменении давления и температуры величина теплоты плавления меняется незначительно. Теплота сублимации при давлении $0,098 \text{ Мн/м}^2$ и температуре $-78,9^\circ$ составляет 574 кдж/кг .

Холодопроизводительность сухого льда определяют с учетом теплоты сублимации и нагревания полученных холодных паров за счет окружающей среды до 0° . Холодопроизводительность сухого льда составляет 638 кдж/кг , что в 1,9 раза больше холодопроизводительности водяного льда, которая при 0° равна $333,2 \text{ кдж/кг}$.

Источниками получения углекислого газа, идущего на производство жидкой углекислоты и сухого льда, являются углекислота спиртового брожения (спиртовые, пивоваренные и лесогидролизные заводы), углекислота химических производств (газонефтеочистительных заводов, газа при производстве синтетического аммиака), углекислота метанового и этанового брожения, углекислота дымовых газов топлива.

При выборе сырьевого источника важно место расположения его, удаленность от потребителя, степень загрязненности примесями. При отсутствии близкой готовой сырьевой базы углекислый газ получают из дымовых газов специально сжигаемого топлива. Эти заводы используют твердое (антрацит и кокс), жидкое (малосернистый мазут) и газообразное (доменные, сланцевые и природные горючие газы) топливо.

§ 111. СХЕМЫ ПОЛУЧЕНИЯ СУХОГО ЛЬДА

Технологический процесс получения сухого льда состоит из трех стадий: получения чистого углекислого газа, получения жидкой углекислоты и получения сухого льда.

На рис. 187 приведена схема получения углекислого газа из дымовых газов.

Абсорбентом, поглощающим углекислоту из дымовых газов, служит моноэтаноламин. По сравнению с применяемыми ранее абсорбентами — кальцинированной содой или водным раствором поташа он обладает большой поглотительной способностью и не требует громоздкой химической аппаратуры.

Моноэтаноламин представляет собой прозрачную, летучую, вязкую, маслянистую желтоватую жидкость, имеющую при давлении $0,1 \text{ Мн/м}^2$ температуру кипения 170°С . Плотность при 20°С составляет $1,019 \text{ кг/л}$. Моноэтаноламин хорошо горит, является сильной щелочью, в присутствии сернистого ангидрида дымит, сильно действует на цветные металлы (медь, олово, бронзу, латунь, свинец), вследствие чего эти металлы не должны применяться при изготовлении аппаратуры. Моноэтаноламин обладает высокой поглотительной способностью по отношению к углекислому газу. Процесс поглощения углекислого газа моноэтаноламином происходит при температуре $35\text{—}45^\circ$, выделение углекислого газа из моноэтаноламина происходит при температуре 105°С и выше.

Продукты сгорания из топки парового котла 1 поступают в холодный скруббер 2, в котором они промываются и охлаждаются холодной водой, при этом очищаются от сернистых соединений и механических загрязнений.

Промытые дымовые газы через золоуловитель 3 отсасываются эксгаустером 4 и подаются для лучшей очистки от сернистых сое-

динений в содовый скруббер 5, а затем — в абсорбер 7. В содовый скруббер навстречу дымовым газам подают воду из холодильника газа или холодильника раствора, вследствие чего дымовые газы нагреваются и насыщаются водяными парами.

В абсорбере углекислый газ поглощается водным раствором моноэтаноламина, а оставшуюся часть дымовых газов выбрасывают наружу. Моноэтаноламин подают в верхнюю часть абсорбера насосом 11. Насыщенный углекислым газом раствор моноэтаноламина подают из абсорбера насосом 11 через теплообменник раствора 13 в верхнюю часть десорбера 14, называемую дефлегматором. В дефлегматоре насыщенный углекислым газом раствор моноэтаноламина, стекая по насадке из колец, подогревается вторичным паром почти до температуры кипения и по внешним трубам отводится в нижнюю часть десорбера — кипятильник. Там раствор, поднимаясь по трубам, нагревается до состояния кипения за счет теплоты конденсации водяного пара, подаваемого из парового котла в межтрубное пространство кипятильника. При кипячении из раствора выделяется углекислый газ, водяные пары и пары моноэтаноламина. В дефлегматоре парогазовая смесь подогревает насыщенный раствор моноэтаноламина, несколько охлаждается и поступает в холодильник углекислого газа 15, в котором происходит конденсация паров воды и моноэтаноламина, а углекислый газ охлаждается. Освобожденный от углекислого газа моноэтаноламин, имеющий высокую температуру, поступает из десорбера 14 в теплообменник 13 для подогрева проходящего через него насыщенного раствора моноэтаноламина. Охлажденный раствор снова подается насосом 11 из теплообменника 13 через холодильник раствора 9 в абсорбер 7. Конденсат с концентрацией моноэтаноламина 0,5—0,8%, полученный в холодильнике углекислого газа 15, также перепускается в абсорбер 7.

Углекислый газ направляют из холодильника углекислого газа 15 через угольный фильтр в колонку 19 с раствором марганцовокислого калия для отделения паров моноэтаноламина. Циркуляция раствора марганцовокислого калия через насадку колонки 19 осуществляется насосом 18. Затем углекислый газ пропускают через колонку с активированным углем и направляют в компрессорную установку для сжатия и сжижения. Установлены две колонки с активированным углем. В то время как одна включена в работу, в другой происходит регенерация угля. В верхней части абсорбера 7 установлены барботажные тарелки и вмонтирован холодильник дымовых газов, выполненный из оребренных труб, в которые подается холодная вода. Конденсат, полученный в холодильнике 8, стекает на барботажные решетки и поглощает моноэтаноламин из дымовых газов, поднимающихся навстречу.

Сернистые соединения и кислород, имеющиеся в дымовых газах, вызывают полимеризацию раствора моноэтаноламина. Раствор

темнеет и становится коррозионным. Его регенерируют добавлением в него кальцинированной соды или путем вакуум-перегонки раствора с добавлением в него едкого натра.

1. Получение жидкой углекислоты

Второй этап в получении твердой углекислоты состоит в сжатии, осушении и сжижении углекислого газа. На рис. 188 приведена технологическая схема сжижения углекислого газа. Охлажденный и осушенный углекислый газ поступает в первую ступень трехступенчатого углекислотного компрессора 1, сжимается до избыточного давления $0,35-0,4 \text{ Мн/м}^2$ и через промежуточный холодильник 2 поступает в маслоотделитель 16. Оттуда через осушительную колонку 18, заполненную хлористым кальцием, газ засасывается второй ступеню компрессора, сжимается до избыточного давления $1,2-1,8 \text{ Мн/м}^2$ и через промежуточный холодильник 3 и маслоотделитель 15 поступает в третью ступень компрессора 1. Углекислый газ, сжатый в цилиндре высокого давления до избыточного давления $6-7 \text{ Мн/м}^2$, проходит через холодильник 7, маслоотделитель 14, фильтр высокого давления 13, очистительную колонку 12, осушительную колонку 11 и поступает в конденсатор 5. Очистительная колонка заполнена активированным углем, задерживающим неотделившееся ранее масло и поглощающим запахи. В осушительной колонке 11 происходит окончательное осушение газа активным глиноземом. В конденсаторе поступает углекислый газ, осушенный и охлажденный до температуры $35-50^\circ\text{C}$. Благодаря отводу тепла охлаждающей водой газ сжижается и полученная жидкая углекислота собирается в ресивере, откуда расходуется для производства сухого льда.

В последнее время большое значение приобретает получение углекислоты из природных источников. В этом случае сырьем для получения углекислоты может служить подземная вода, насыщенная углекислотой, или естественные углекислые соли (карбонаты CaCO_3 , MgCO_3), имеющиеся в природе в огромных количествах и содержащие большое количество углекислоты.

На рис. 189 приведена схема получения жидкой углекислоты из естественных источников. Из скважины 1 вода, насыщенная углекислым газом, под избыточным давлением $0,2-0,22 \text{ Мн/м}^2$ поступает в расширительный сосуд 2. В расширительном сосуде давление понижается до атмосферного, благодаря чему углекислый газ интенсивно выделяется из воды и поступает в осушитель 3 (вертикальный цилиндрический сосуд), наполненный активированным древесным углем. Из осушителя углекислый газ отсасывается трехступенчатым компрессором 4, сжимается до избыточного давления $6-7 \text{ Мн/м}^2$ и направляется в конденсатор 10. В конденсаторе углекислый газ кон-

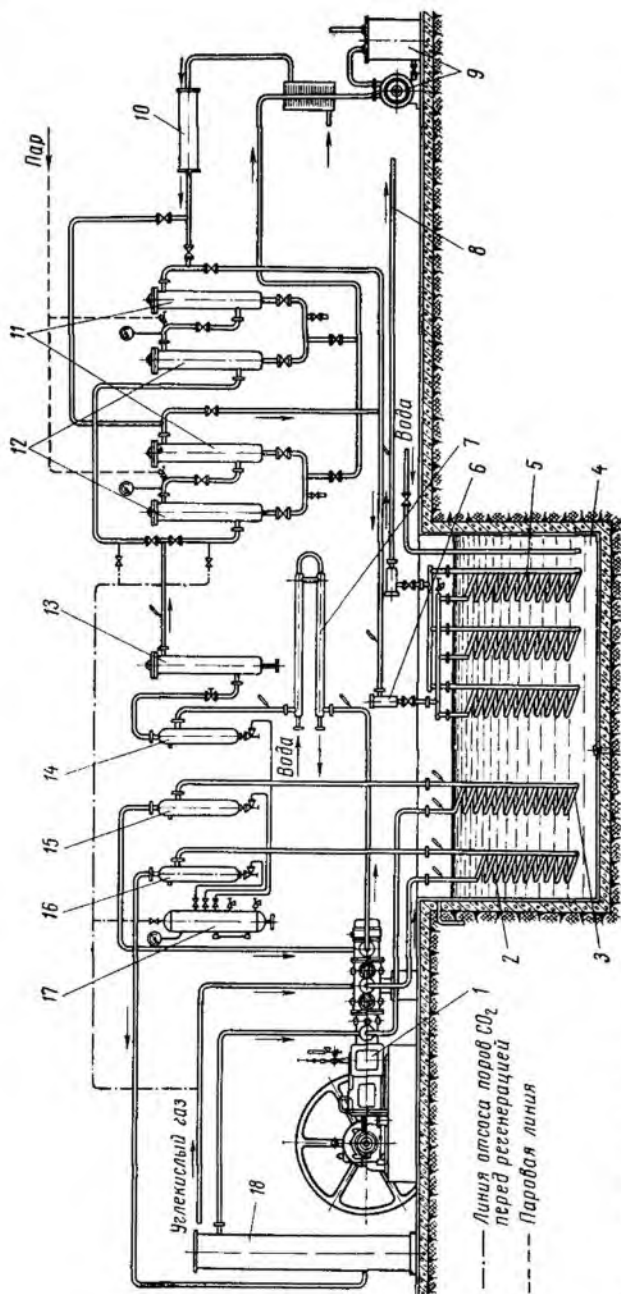


Рис. 188. Технологическая схема сжижения углекислого газа:

1 — трехступенчатый углекислотный компрессор; 2 — холодильный конденсатор; 3 — холодильный компрессор; 4 — бак для хранения жидкого углекислого газа; 5 — конденсатор; 6 — фильтр; 7 — холодильник; 8 — жидкая углекислота, поступающая в ресивер; 9 — вакуум-насос; 10 — аккумулятор; 11 — осушительная колонка; 12 — очистительная колонка; 13 — фильтр с фторовыми кольцами; 14 — маслоотделитель; 15 — маслоотделитель; 16 — маслоотделитель; 17 — маслоотделитель; 18 — линия отсоса паров CO_2 перед регенерацией

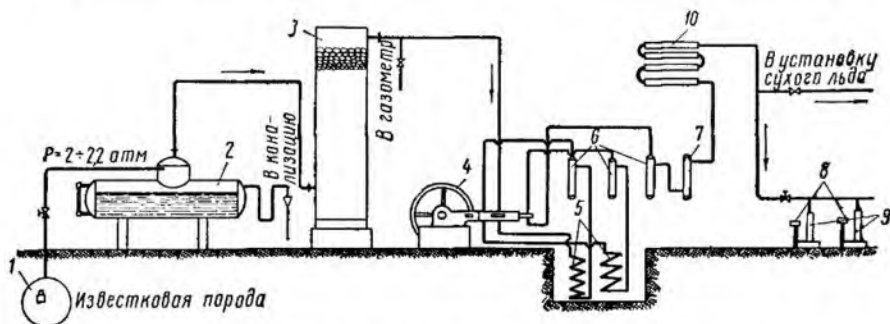


Рис. 189. Получение жидкой углекислоты из естественных источников:

1 — газовая скважина; 2 — расширительный сосуд; 3 — осушитель; 4 — компрессор; 5 — промежуточные охладители; 6 — маслоотделители; 7 — очиститель; 8 — весы, 9 — баллоны жидкой углекислоты; 10 — конденсатор

денсруется и в жидком состоянии используется для получения сухого льда или для наполнения баллонов.

Использование естественных источников получения углекислоты позволяет снизить расход электроэнергии, упростить обслуживание и уменьшить численность обслуживающего персонала, уменьшить габариты установки.

2. Производство сухого льда

Наиболее распространенными способами получения сухого льда являются следующие: 1) дросселирование жидкой углекислоты до давления ниже тройной точки и прессование полученного рыхлого снега; 2) медленное испарение жидкой углекислоты, находящейся под абсолютным давлением $0,7\text{--}0,9 \text{ Мн/м}^2$ с частичной сублимацией образовавшейся твердой углекислоты и отводом паров вниз через поры блока.

Различают простой цикл получения сухого льда, получение льда по циклу высокого, среднего и низкого давления.

При простом цикле жидкую углекислоту дросселируют от $6\text{--}7,5 \text{ Мн/м}^2$ до атмосферного давления, направляя полученную снегообразную массу в замшевый мешок или металлический сосуд. При этом из 1 кг жидкой углекислоты под давлением 7 Мн/м^2 получают $0,23 \text{ кг}$ сухого льда и $0,77 \text{ кг}$ газообразной углекислоты.

Производство сухого льда по циклу высокого давления

На рис. 190 показана схема получения сухого льда при высоком давлении. Цикл получения сухого льда соответствует рабочему циклу трехступенчатой холодильной машины с учетом допу-

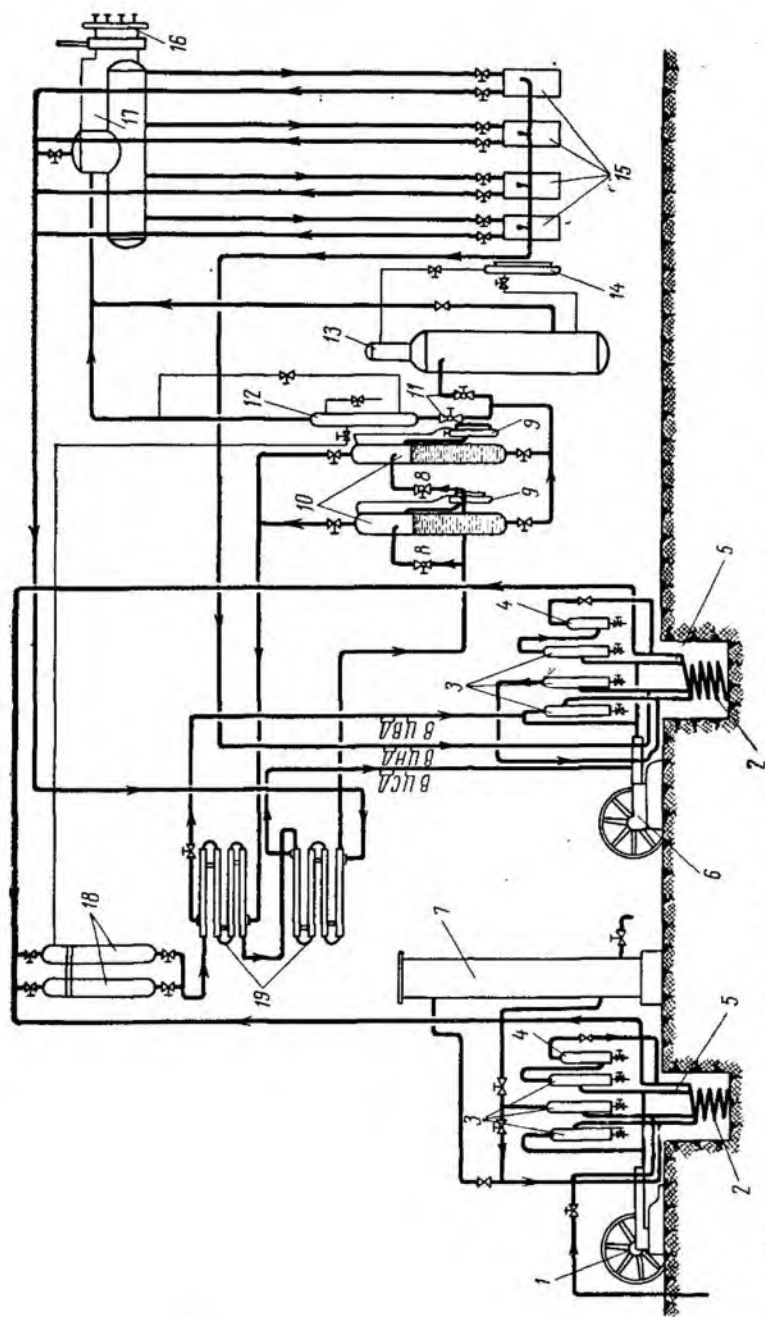


Рис. 190. Схема производства сухого льда по циклу высокого давления:

1 — основной компрессор; 2 — промежуточные охладители; 3 — маслоделители; 4 — фильтр с силикагелем; 5 — конденсатор; 6 — дополнительный компрессор; 7 — колонка с хлористым кальцием; 8 — первая регулирующий вентиль; 9 — ртутная указатель уровня; 10 — первая промежуточный сосуд; 11 — второй регулирующий вентиль; 12 — воздухоотделитель; 13 — сосуд для хранения жидкой углекислоты; 14 — батарея для хранения жидкой углекислоты; 15 — льдогенераторы; 16 — световой указатель; 17 — второй промежуточный сосуд; 18 — батарея для хранения углекислоты; 19 — теплообменник

щения, что в конце каждого цикла (после третьего дросселирования) рабочее тело (твердую углекислоту) из машины удаляют и взамен вводят равное по весу количество углекислого газа, подаваемое в ЦНД.

Жидкая углекислота при избыточном давлении $6-7 \text{ Мн/м}^2$, полученная в конденсаторе основного компрессора, проходит через батарею 18, через внутренние трубы теплообменника 19 и поступает в первый регулирующий вентиль 8, в котором в результате дросселирования давление жидкости понижается до $2,4-2,8 \text{ Мн/м}^2$, а температура — до $(-12) - (-8)^\circ\text{C}$. Дросселирование сопровождается некоторым парообразованием. Полученная парожидкостная смесь поступает в первый промежуточный сосуд 10, откуда пар отсасывается цилиндром высокого давления дополнительного компрессора 6, а жидкость поступает на второй регулирующий вентиль 11.

Во втором регулирующем вентиле давление жидкой углекислоты снижается от $2,8$ до $0,78 \text{ Мн/м}^2$, а температура жидкости — до -44° , и жидкость поступает во второй промежуточный сосуд 17 или на хранение в сосуд 13. Из второго промежуточного сосуда пар отсасывается через кольцевое пространство второй секции теплообмен-

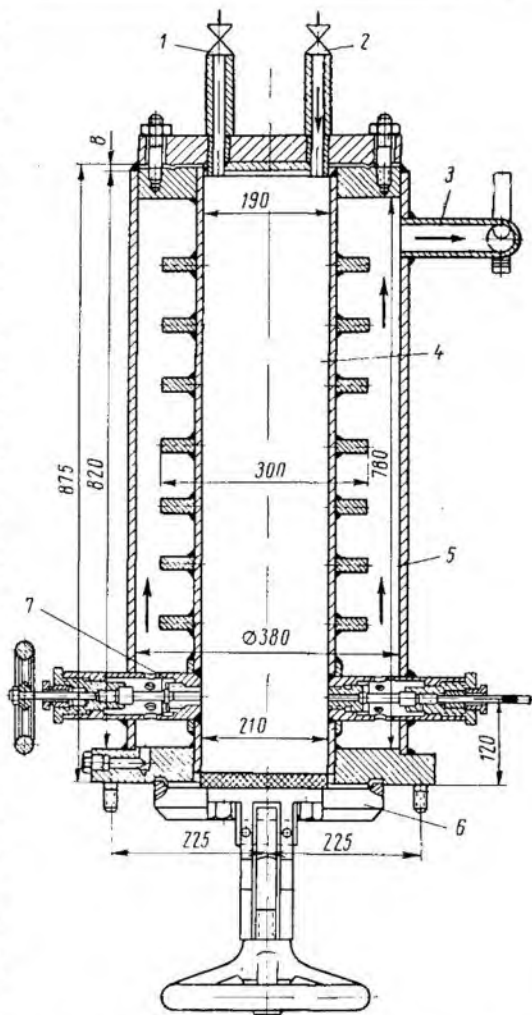


Рис. 191. Льдогенератор для получения блоков сухого льда:

1 — газовый вентиль; 2 — жидкостный вентиль; 3 — газопровод для отвода газа в цилиндр низкого давления компрессора; 4 — полость льдогенератора; 5 — газовая рубашка льдогенератора; 6 — откидное дно; 7 — диафрагма

ника цилиндром среднего давления дополнительного компрессора 6, а жидкость поступает в льдогенераторы 15. Льдогенератор (рис. 191) состоит из наружного кожуха и полости. Открывают вентиль 1 на газовом трубопроводе, соединяющем полость льдогенератора со всасывающей стороной (с газовой частью) второго промежуточного сосуда, затем открывают вентиль 2, и жидкость самотеком из второго промежуточного сосуда сливается в полость льдогенератора 4. После полного заполнения полости газовый вентиль закрывают.

Открывают одну из диафрагм для нижнего отсоса 7. Диафрагма при медленном открывании создает большое сопротивление движению жидкости. Преодолевая это сопротивление, жидкая углекислота, проходящая через диафрагму, теряет давление и при понижении до $0,42 \text{ Мн/м}^2$ превращается в твердое состояние. После намораживания кристаллов в диафрагме происходит намораживание блока снизу вверх в полости льдогенератора. О конце намораживания судят по падению давления в полости льдогенератора, определяемому по манометру. Затем закрывают жидкостный вентиль диафрагмы и через нижнюю крышку полости 6 достают готовый блок.

Пар избыточного давления $0,03\text{--}0,05 \text{ Мн/м}^2$ и температуры $(-78,9) \text{--}(-76)^\circ\text{C}$, образующийся при намораживании блока, поступает в рубашку льдогенератора 5 и отсасывается цилиндром низкого давления дополнительного компрессора 6.

В дополнительном компрессоре пар сжимается до избыточного давления $6,4\text{--}6,8 \text{ Мн/м}^2$ и поступает для сжижения в конденсатор основного компрессора. В качестве дополнительного компрессора используют углекислотные компрессоры 3УГ и 5УГ.

Объемы, описанные поршнями отдельных ступеней компрессора, можно определить по следующим формулам:

$$V_{\text{цнд}} = \lambda_1 g_1 v_1; \quad (241)$$

$$V_{\text{цсд}} = \lambda_2 g_2 v_2; \quad (242)$$

$$V_{\text{цвд}} = \lambda_3 g_3 v_3, \quad (243)$$

где $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ — коэффициенты подачи цилиндров;

v_1, v_2, v_3 — удельные объемы пара, поступающего в каждую ступень, $\text{м}^3/\text{кг}$ (см. рис. 29);

g_1, g_2, g_3 — количество газообразной углекислоты, поступающей в каждую ступень, кг/сек ;

$V_{\text{цнд}}, V_{\text{цсд}}, V_{\text{цвд}}$ — объемы, описанные поршнями ЦНД, ЦСД, ЦВД, $\text{м}^3/\text{сек}$;

$$g_1 = \frac{g_0}{1-x}; \quad g_2 = \frac{g_0}{(1-x_1)(1-x_2)}; \quad g_3 = \frac{g_0}{(1-x_1)(1-x_2)(1-x_3)}, \quad (244)$$

где g_0 — заданная производительность установки, кг/сек .

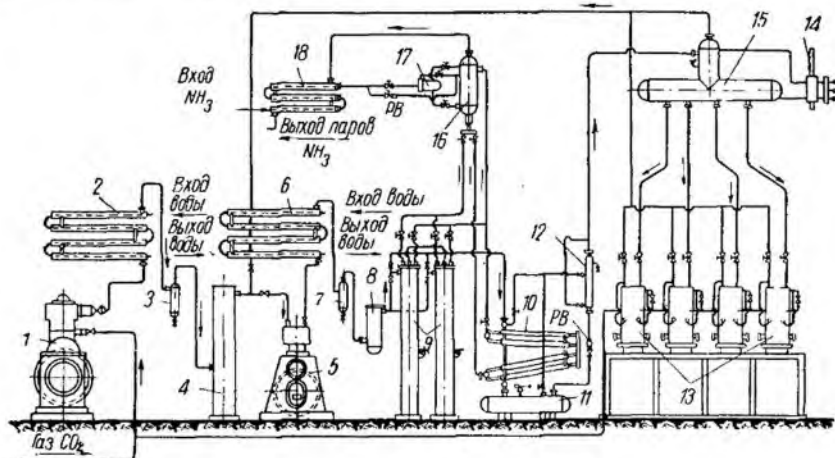


Рис. 192. Схема производства сухого льда по циклу среднего давления:

1 — компрессор первой ступени; 2 — промежуточный охладитель первой ступени; 3 — маслоотделитель первой ступени; 4 — колонка с хлористым кальцием; 5 — компрессор второй ступени; 6 — промежуточный охладитель второй ступени; 7 — маслоотделитель второй ступени; 8 — фильтр с силикагелем; 9 — осушители холодом; 10 — конденсатор CO_2 — испаритель NH_3 ; 11 — ресивер жидкой углекислоты; 12 — воздухоотделитель; 13 — льдогенераторы; 14 — световой указатель уровня; 15 — промежуточный сосуд на избыточное давление $0,8 \text{ Мн/м}^2$; 16 — отделитель жидкости; 17 — поплавковый регулирующий вентиль; 18 — газовый переохладитель NH_3 .

Выход сухого льда за один цикл составит

$$n = \frac{100g_0}{g_3} \% \quad (245)$$

Теоретическая мощность, затрачиваемая на сжатие (в *вт*):
в первой ступени

$$N_{a_1} = (i_2 - i_1) g_1; \quad (246)$$

во второй ступени

$$N_{a_2} = (i_4 - i_3) g_2; \quad (247)$$

в третьей ступени

$$N_{a_3} = (i_6 - i_5) g_3; \quad (248)$$

$i_1, i_2, i_3, i_4, i_5, i_6$ — энтальпии углекислоты на входе и на выходе из каждой ступени, *дж/кг*.

Общая теоретическая мощность, потребляемая компрессором,

$$N_a = N_{a_1} + N_{a_2} + N_{a_3}. \quad (249)$$

Производство сухого льда по циклу среднего давления

Углекислый газ сжимают (рис. 192) не в трехступенчатом компрессоре, как при производстве по циклу высокого давления, а в двухступенчатом компрессоре, и сжижение производят при давлении $1,6\text{--}2 \text{ Мн/м}^2$, отводя тепло кипящим холодильным агентом.

Углекислый газ, сжатый в цилиндре низкого давления до $p_{изб} = 0,68—0,78 \text{ Мн/м}^2$, последовательно проходит промежуточный охладитель 2, маслоотделитель 3, осушительную колонку 4 и поступает в цилиндр высокого давления 5. В цилиндре высокого давления газ сжимается до $p_{изб} = 1,6—2 \text{ Мн/м}^2$, пройдя очистку от масла и осушение в промежуточном охладителе 6, маслоотделителе 7, силикагелевом фильтре 8 и осушителе 9, поступает в углекислотный конденсатор 10, который служит одновременно испарителем аммиачной холодильной машины. Сжиженная углекислота собирается в ресивере 11. Из ресивера жидкую углекислоту направляют в регулирующий вентиль, в котором происходит дросселирование до давления $0,68—0,78 \text{ Мн/м}^2$ и понижение температуры до $-40 \div -45^\circ\text{C}$. Полученная парожидкостная смесь поступает в промежуточный сосуд 15, из которого пар отсасывается компрессором второй ступени 5, а жидкость поступает в льдогенераторы 13. Газ, образующийся в льдогенераторе, отсасывается цилиндром низкой ступени 1. Схема получения сухого льда по циклу среднего давления значительно проще, чем схема получения сухого льда по циклу высокого давления, и расход электроэнергии примерно на 10% ниже. Применение этого способа особенно удобно, если завод сухого льда работает на базе холодильной установки, обслуживающей холодильники.

Производство сухого льда по циклу низкого давления

Такой способ производства сухого льда (рис. 193) предусматривает сжижение углекислого газа при давлении $0,78—0,88 \text{ Мн/м}^2$ после сжатия его в одноступенчатом углекислотном компрессоре 1. Сжатый газ проходит водяной холодильник 2, маслоотделитель 3, колонку с CaCl_2 4, силикагелевый фильтр 5 и осушитель 6, в котором благодаря сильному охлаждению влага, содержащаяся в газе, вымораживается. Осушенный газ поступает в конденсатор CO_2 —испаритель NH_3 8, где при температуре кипения аммиака $-48 \div -50^\circ\text{C}$ углекислый газ сжижается. Из конденсатора жидкая углекислота поступает по льдогенераторам 9.

Получение сухого льда прессованием снегообразной углекислоты

Сухой лед методом прессования получают в специальных сухоледных прессах. Жидкая углекислота при избыточном давлении $6—7 \text{ Мн/м}^2$, пройдя первое, а затем второе дросселирование, поступает во второй промежуточный сосуд под избыточным давлением $1,5 \text{ Мн/м}^2$, имея температуру -27°C . Из промежуточного сосуда жидкость поступает к регулирующим вентилям, с помощью которых дросселируется в снеговые камеры пресса. Давление в снеговых камерах поддерживают равным $0,418 \text{ Мн/м}^2$. Понижение давления приводит к образованию снегообразной углекислоты, которая накапливается

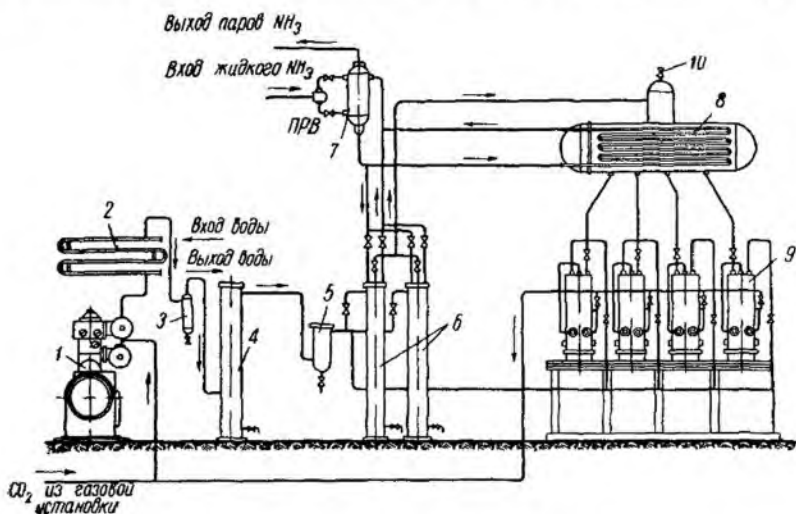


Рис. 193. Схема производства сухого льда по циклу низкого давления: 1 — компрессор; 2 — водяной холодильник; 3 — маслоотделитель; 4 — колонка с CaCl_2 ; 5 — силикагелевый фильтр; 6 — осушитель холодоагента; 7 — отделитель жидкого NH_3 ; 8 — конденсатор CO_2 — испаритель NH_3 ; 9 — льдогенераторы; 10 — воздухопускной вентиль; ПРВ — поплавковый регулирующий вентиль

в камере, а образующиеся при дросселировании пары из верхней части камеры отсасываются первой ступенью дополнительного компрессора. Наполнение прессовой камеры продолжается 6 мин, после чего регулирующий вентиль закрывают, а отсос газа из камеры продолжают, пока давление не снизится до $0,3\text{--}0,35 \text{ Мн/м}^2$. Затем вентиль верхнего отсоса закрывают и дальнейший отсос производят первой ступенью основного компрессора до снижения избыточного давления до $0,05\text{--}0,06 \text{ Мн/м}^2$. Прекратив отсос, накопленный в камере снег подвергают сжатию поршнем, в результате чего получают компактный блок сухого льда с плотностью $1,6 \text{ кг/л}$.

§ 112. СРАВНЕНИЕ СПОСОБОВ ПОЛУЧЕНИЯ И ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СУХОГО ЛЬДА

Производство льда по циклу высокого давления требует трехступенчатого углекислотного компрессора. Затруднена очистка углекислого газа от масла, так как удельные веса смазочного масла и газообразной углекислоты при высоких давлениях отличаются незначительно. При эксплуатации установок влага, содержащаяся в углекислом газе, замерзает в запорной арматуре, образуя пробки. Эти недостатки устранены в установках, работающих по циклу

среднего давления и цикла низкого давления. Производство льда по циклам среднего и низкого давлений упрощает технологическую схему (трехступенчатый компрессор заменен двухступенчатым или одноступенчатым, уменьшается количество промежуточных сосудов, емкостных сосудов и т. д.), упрощается обслуживание установки. Углекислый газ хорошо очищается от масла и влаги, которая вымораживается в осушителях при охлаждении углекислого газа до низких температур. Примерно на 10% уменьшается расход электроэнергии на производство сухого льда. Недостатком производства сухого льда по циклам среднего и низкого давлений является необходимость наличия аммиачной холодильной установки.

Сухой лед позволяет получить низкие температуры, обеспечивая высокие санитарные требования, поэтому он имеет применение во многих отраслях промышленности: в пищевой промышленности, в мясо-молочной, для научно-исследовательских целей, в фармацевтическом производстве, в медицине, в машиностроительной (для закалки специальных сталей) и химической промышленности (при производстве красителей), однако наибольшая его часть расходуется на охлаждение мороженого в розничной торговле.

Хранение сухого льда должно обеспечивать минимальные потери его в результате сублимации, поэтому хранилища сухого льда выполняют в виде хорошо изолированных помещений или ларей с верхней загрузкой и выемкой блоков. Для удобства выемки блоков на изолированной крышке укрепляют сварную этажерку, которую вынимают вместе с крышкой с помощью тельфера.

Минимальная емкость хранилища должна соответствовать двухсуточной производительности завода.

Жидкую углекислоту хранят в ресиверах, емкость которых должна соответствовать двух-четырёхсуточной производительности завода. Хранение углекислоты в жидком виде в ресиверах позволяет получать сухой лед непосредственно перед реализацией и уменьшать потери, связанные с его хранением. Ресиверы, предназначенные для хранения жидкой углекислоты при избыточном давлении $0,78 \text{ Мн/м}^2$, значительно менее металлоемки, чем ресиверы для хранения углекислоты при высоком давлении. Кроме того, при низком давлении получается большой выход сухого льда из жидкой углекислоты (табл. 63). Поэтому более целесообразно хранить углекислоту при низком давлении, но так как температура ее при этом низкая, то ресиверы должны быть тщательно изолированы.

Работа на заводе сухого льда требует знания и четкого выполнения «Правил техники безопасности на установках сухого льда и жидкой углекислоты». Во избежание отравления персонала окисью углерода или сероводородом, содержащимися в дымовых газах, необходимо следить за отсутствием утечек в газопроводах и исправностью аппаратуры.

Таблица 63

Сравнение способов хранения жидкой углекислоты при емкости ресивера 20 кг (заполнение на 80%)

Давление, при котором хранится жидкая углекислота, Мн/м^2	Емкость ресиверов, м^3	Масса ресиверов, кг	Выход твердой углекислоты, %	Масса неиспользованной углекислоты, кг
6,88	39,4	78,4	47,2	11,800
2,42	25,3	22,0	91,5	1,720
0,78	22,2	7,6	97,5	0,512

Аппараты, поставленные на ремонт, продувают чистым воздухом.

При попадании брызг моноэтаноламина в глаза, надо промыть их чистой холодной водой и обратиться в медицинский пункт.

Из льдогенераторов блоки следует вынимать при закрытых жидкостном и газовом вентилях. Нельзя брать сухой лед незащищенными руками.



Раздел четвертый

Холодильный транспорт

Холодильный транспорт служит для перевозки скоропортящихся грузов при температурах ниже температуры окружающей среды, обеспечивая их высокое качество.

Холодильный транспорт называется часто изотермическим, так как температура воздуха в нем поддерживается постоянной, независимо от наружной температуры. С этой целью грузовое помещение снабжают приборами охлаждения для перевозки грузов в летнее время и приборами отопления для перевозки грузов в зимнее время. Широко применяются все виды холодильного транспорта: железнодорожный, водный, автомобильный и воздушный.

ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЙ ХОЛОДИЛЬНЫЙ ТРАНСПОРТ

§ 113. КЛАССИФИКАЦИЯ ИЗОТЕРМИЧЕСКИХ ВАГОНОВ

Изотермические вагоны классифицируют по следующим признакам:

1) по назначению — на универсальные, предназначенные для перевозки разных грузов при различных температурных режимах и специализированные — для перевозки определенного вида груза: молока, вина, живой рыбы и т. д.

В зависимости от перевозимого груза вагоны снабжены соответствующими приборами охлаждения и отопления и оборудованием для укладки грузов.

Универсальные вагоны более экономичны в эксплуатации, так как могут быть использованы для любого груза и имеют меньший пробег в порожнем состоянии;

2) по способу охлаждения — на вагоны с машинным охлаждением и вагоны с льдосоляным охлаждением. Примерно 85% парка изотермических вагонов имеют льдосоляное охлаждение. Вагоны с машинным охлаждением стали применяться на железных дорогах Советского Союза с 1953 г., но удельный вес их увеличивается из года в год. В настоящее время применяются 23-вагонные изотермические поезда с машинным охлаждением, трех-, пяти- и двенадцати-вагонные секции и изотермические вагоны с индивидуальным машинным охлаждением.

Вагоны с льдосоляным охлаждением, называемые вагонами-ледниками, подразделяют на вагоны с пристенными карманами и с потолочными баками для льдосоляной смеси. Вагоны с пристенными карманами, заполненными льдосоляной смесью, имеют существенные недостатки, главными из которых являются неравномерность температур по объему вагона, большие колебания температуры во времени, уменьшение загрузочной площади вагона примерно на 25%, необходимость ежедневного снабжения вагонов льдом. Разность между максимальной и минимальной температурами в охлаж-

даемом объеме доходит до 10—12°. Наиболее низкая температура наблюдается в нижней части вагона, у карманов (—10—12° С), наиболее высокая — над дверными проемами (0—2° С). Колебания температур во времени вызваны таянием льдосоляной смеси и уменьшением вследствие этого охлаждающей поверхности при движении поезда от одного пункта льдоснабжения до другого. Особую группу вагонов с льдосоляным охлаждением составляют вагоны, охлаждаемые по системе инженера Клейменова;

3) по габаритам — на вагоны типа 0 и типа IV. Вагоны нулевого габарита используют для бесперегрузочного прямого международного сообщения с перестановкой осей с колес, применяемой на дорогах Советского Союза (1524 мм), на колею западноевропейскую (1435 мм);

4) по количеству осей — на двухосные и четырехосные. В настоящее время строят вагоны четырехосные;

5) по конструкции кузова — на вагоны с деревянным каркасом кузова и деревянной обшивкой, с металлическим каркасом и деревянной обшивкой, цельнометаллические.

Изотермические вагоны должны обеспечивать: 1) внутри грузового помещения вагона необходимую постоянную температуру воздуха, а при перевозке некоторых грузов — также вентиляцию грузового объема; 2) достаточную циркуляцию воздуха; 3) надежность и простоту действия приборов охлаждения и отопления; 4) удобство обслуживания; 5) иметь невысокую стоимость.

§ 114. УСТРОЙСТВО КУЗОВА ИЗОТЕРМИЧЕСКОГО ВАГОНА

Кузов вагона должен быть прочным, непроницаемым для пыли и атмосферных осадков, иметь малый вес и максимальную вместимость.

Ограждение кузова состоит из каркаса, обшивки и изоляции, заполняющей пространство между наружной и внутренней обшивками. По конструктивному оформлению каркас подразделяют на стоечный, состоящий из горизонтальных и вертикальных брусьев, и раскосно-стоечный. В последнем случае, кроме вертикальных и горизонтальных брусьев, имеются раскосы. В современном парке 50% изотермических вагонов составляют вагоны с металлическими каркасами и деревянной обшивкой.

Для крепления изоляции и обшивки металлические конструкции стоек, верхних и нижних обвязок армируют деревом. В качестве изоляционного материала применяют блоки мипоры, завернутые в перфоль, пробковые плиты, шевелин. В каркас укладывают мипору и покрывают с наружной и внутренней стороны рубероидом на горячем битуме, затем прибавают деревянную обшивку из досок в шпунт толщиной 22 мм. Настил пола выполняют из досок

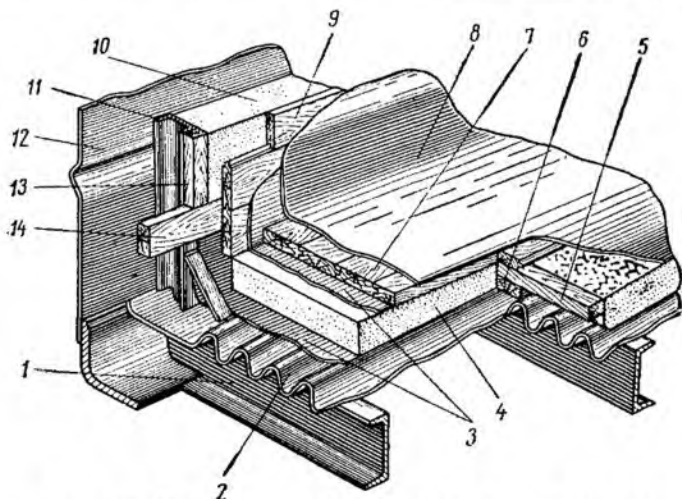


Рис. 194. Изоляционная конструкция пола и стены цельнометаллического изотермического вагона:

1 — поперечная бадка рамы; 2 — наружное покрытие пола из гофрированной стали толщиной 2 мм; 3 — перфоль; 4 — теплоизоляционный слой; 5 — деревянный поперечный брус; 6 — деревянный опорный брус; 7 — верхнее деревянное покрытие пола; 8 — металлическое покрытие пола (оцинкованная сталь с пропайкой швов); 9 — доски внутренней обшивки стен; 10 — теплоизоляция стен; 11 — стойки каркаса; 12 — наружная металлическая обшивка стен; 13 — армировочный деревянный брус; 14 — брус для прикрепления крошителей напольных решеток

толщиной 45—48 мм. Доски соединяют в шпунт, заливают гудроном и покрывают листами оцинкованной стали толщиной 1 мм. Края листов отгибают по стенам на высоту 225—250 мм.

При выполнении изоляционных конструкций следует обращать внимание на хорошую защиту изоляции от увлажнения.

Цельнометаллические вагоны имеют металлический каркас с наружной обшивкой стен из стального листа толщиной 2,5 мм, наружной обшивкой пола из гофрированного стального листа толщиной 2 мм и обшивкой крыши из гладкого стального листа. Название «цельнометаллический вагон» имеет условный характер, так как кузов выполнен с деревянными элементами (настил пола, внутренняя обшивка стен и потолка, армировка металлического кузова). На рис. 194 показана изоляционная конструкция пола и стены цельнометаллического вагона.

В 1958 г. Брянский машиностроительный завод выпустил опытный вагон-ледник с внутренней обшивкой стен из гофрированного алюминия. Дальнейшее совершенствование обшивки стен должно идти по линии замены всех деревянных элементов металлическими из низколегированных сталей. Это позволит создать более прочный и легкий вагон, требующий минимальных затрат на ремонт в процессе эксплуатации.

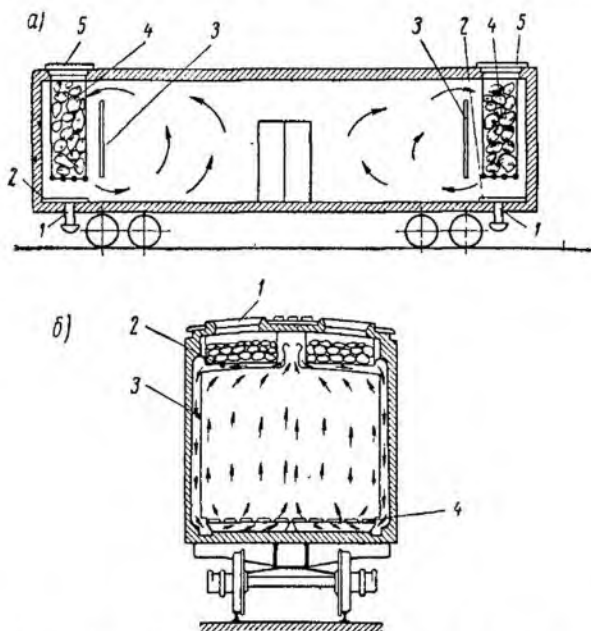


Рис. 195. Расположение оборудования в вагонах-ледниках:

a — с пристенными карманами: 1 — сифон; 2 — поддон; 3 — циркуляционный щит; 4 — карман; 5 — льдозагрузочный люк; *б* — с потолочными баками: 1 — льдозагрузочный люк; 2 — бак для льдосоляной смеси; 3 — циркуляционный щит; 4 — напольные решетки

§ 115. ОБОРУДОВАНИЕ УНИВЕРСАЛЬНЫХ ВАГОНОВ-ЛЕДНИКОВ

Оборудование универсальных вагонов-ледников состоит из приборов охлаждения, циркуляционных щитов, устройств для слива рассола, устройств для отопления и вентиляции вагонов, балок с крючьями для подвешивания мясных туш, напольных решеток для укладки грузов. Приборы охлаждения должны обеспечивать поддержание заданной температуры воздуха в грузовом помещении. Универсальные вагоны могут охлаждаться с помощью пристенных карманов (рис. 195, *a*) или потолочных баков, заполненных льдосоляной смесью (рис. 195, *б*). Карманы для льдосоляной смеси располагают у торцовых стен вагона. В зависимости от конструкции и материала карманы делят на следующие типы: 1) решетчатые деревянные одинарные; 2) решетчатые деревянные двойные; 3) решетчатые металлические одинарные; 4) решетчатые металлические двойные; 5) карманы со сплошными стенками; 6) карманы со смешанными стенками (вверху решетчатые, внизу сплошные). Решетчатые

деревянные карманы представляют собой клетку прямоугольного сечения, расположенную на расстоянии 75 мм от стены, обрешетка которой выполнена из вертикальных реек толщиной 50×25 мм, прибиваемых с внутренней стороны к каркасу. Двойной карман состоит из двух одинарных карманов с разрывом по ширине вагона для увеличения поверхности охлаждения. Вместимость двойного кармана — 4,2 т дробленого льда, геометрическая поверхность — $33,6 \text{ м}^2$. Лед загружают в обе половины кармана через один люк, расположенный в крыше вагона.

Решетчатые металлические одинарные карманы сделаны в виде клетки из оцинкованной уголковой стали, полки уголков обращены внутрь кармана.

Решетчатые металлические двойные карманы изготовляют в виде клетки из оцинкованной прутковой стали диаметром 13 мм. Емкость карманов — 6,4 т, геометрическая поверхность — 45 м^2 . В нижней части предусматривают дверцы для очистки карманов.

Для создания направленного движения холодного воздуха в грузовом объеме вагона у карманов ставят циркуляционные щиты, внизу не доходящие до пола вагона на 200 мм и отступающие от потолка вагона на 300 мм. В верхней щели ставят металлические жалюзи для защиты грузового объема от попадания льда и соли. Циркуляционные щиты изготовляют в виде откидывающихся кверху плоскостей или двухстворчатых деревянных дверей.

Карманы-танки со сплошными стенками представляют собой ящики призматической формы квадратного сечения. Размеры танка — $500 \times 500 \times 2000$ мм. У каждой торцевой стены вагона ставят по четыре танка. Такая конструкция карманов не обеспечивает достаточного теплообмена, поэтому она была заменена решетчатой.

Рассол, образующийся в карманах при таянии льдосоляной смеси, сливают через сифоны (рис. 196). Его собирают в поддоне, находящемся на полу вагона под карманами для льда, оттуда через рассолоотводящую сифонную трубу он выливается наружу. Сифон работает, как гидравлический затвор, выпуская рассол и препятствуя попаданию теплого наружного воздуха в грузовое помещение. Наиболее распространен-

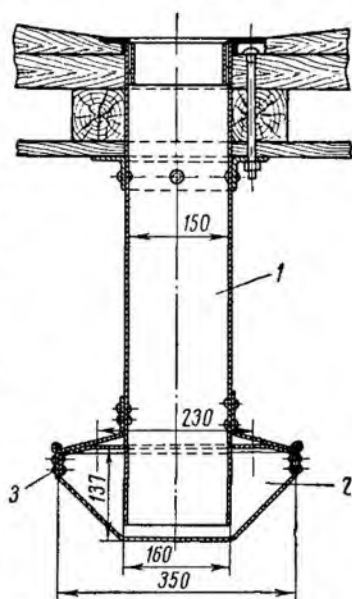


Рис. 196. Сифон для слива рассола:

1 — сливная труба; 2 — чашка сифона; 3 — собачка

ны чашечные сифоны и сифоны типа МПС (с противове-сом).

Чашечный сифон состоит из рассолоотводящей трубы диаметром 150 мм, у которой на наружном конце подвешена чашка. С помощью самозащелкивающихся собачек чашка может ставиться в рабочее и нерабочее положение. В рабочем положении труба входит в чашку на 100 мм, в нерабочем — чашка отводится в сторону.

Сифон типа МПС сохраняет постоянно рабочее положение с помощью противовеса. Но он часто засоряется вследствие малого пространства между концом рассолоотводящей трубы и дном чашки.

Недостатки вагонов с пристенными карманами, указанные выше, в основном устранены в вагонах с потолочными баками. Под потолком вагона размещают шесть двойных металлических баков общим объемом 10,4 м³, поверхностью охлаждения 74,5 м² и емкостью 5,5 т льда. Каждую пару в продольном направлении соединяют патрубками и общим рассолопускным устройством. Для загрузки баков льдом и солью в крыше вагонов имеется шесть люков с двойными крышками, расположенными по оси вагона. При таянии льдо-соляной смеси рассол остается в баках, заполняя их на $\frac{2}{3}$ объема. Избыток рассола сливается по переливной трубе в сливную трубу и через сифон — наружу. Потолочное расположение приборов охлаждения и примерно постоянная охлаждающая поверхность обеспечивают равномерное поддержание температур по длине и высоте вагона и увеличение грузовой площади вагона на 25%. В то же время при потолочных баках увеличивается время на экипировку и очистку баков от загрязнений. Для направления движения воздуха и улавливания конденсационной влаги под баками установлены циркуляционные щиты. Их называют также поддонами.

Вентилирование вагонов-ледников с пристенными приборами охлаждения производят через льдозагрузочные люки. Для вентиляции вагонов с потолочными приборами на крыше вагонов предусмотрены два вентиляционных люка.

Для подвешивания мясных туш вагоны-ледники снабжены специальными балками с крючьями. Вагоны с потолочными баками Брянского машиностроительного завода, построенные в 1957 г., не имеют постоянных потолочных балок, а снабжены опорными балками, позволяющими при необходимости установить в вагоне балки с крючьями.

Опорные балки выполняют из швеллера или уголка, опирают на вертикальные стойки, поставленные у продольных стен, и прикрепляют к каркасу кузова. К опорным балкам на расстоянии 500÷600 мм друг от друга крепят балки с крючьями. На каждой балке 6—7 луженых или оцинкованных металлических крючьев. Грузы в таре или навалом укладывают на напольные съемные решетки. Решетки обеспечивают правильную циркуляцию воздуха в грузовом объеме вагона и уменьшают износ пола. Решетки

в новых вагонах металлические, в старых вагонах — деревянные размером $1,3 \times 1,0$ м. Для укладки грузов в два яруса у стен вагонов предусмотрены упоры, на которые опирается настил из досок.

§ 116. ОБОРУДОВАНИЕ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ ВАГОНОВ

К специализированным относят вагоны и цистерны для перевозки молока, вагоны-цистерны для перевозки вина, вагоны для перевозки живой рыбы.

Оборудование молочных вагонов должно обеспечивать поддержание в грузовом объеме температур летом не выше $+8^{\circ}\text{C}$, зимой — не ниже $+2^{\circ}\text{C}$.

Приборами охлаждения служат потолочные баки для льдосоляной смеси. Вагоны снабжены суховоздушными печами для отопления вагона в зимнее время и откидными металлическими полками для установки бидонов в два яруса. Напольные решетки заменены металлическими полосами, предохраняющими пол от разрушения и облегчающими передвижение бидонов.

Перевозка молока в бидонах приводит к большому объему грузовых работ, большим расходам на мойку и ремонт тары, к недостаточному использованию грузоподъемности вагонов. Более рациональным способом является перевозка молока в цистернах. Котел цистерны изготовляют из нержавеющей стали и разделяют двумя переборками на три секции емкостью $8,4$ м³ каждая. Разделение котла на секции позволяет перевозить отдельно молоко различных поставщиков. Каждая секция имеет свой лаз — люк диаметром 570 мм. Над люком приваривают овальный колпак из стального листа, снабженный крышкой на резиновых уплотнениях. Общая длина котла 9200 мм, диаметр — 2370 мм. Для предохранения молока от действия наружных температур котел изолирован слоем мипоры толщиной 200 мм. Мипора покрыта рубероидом и защищена металлическим кожухом, окрашенным снаружи белой краской. Молоко наливают в каждую секцию через наливную трубу диаметром 76 мм, опущенную внутрь секции цистерны, после того как крышка колпака плотно закрыта. Во время налива воздух вытесняется из цистерны через воздушный кран. Секции цистерны снабжены поплавковыми указателями уровня.

Молоко сливают по трубе диаметром 76 мм, проходящей под каждой секцией цистерны, концы которой выведены на обе стороны, что позволяет сливать молоко в любую сторону.

Вагон-цистерна для перевозки вина представляет собой цельнометаллический кузов, изолированный мипорой, внутри которого установлены две цистерны из мартеновской стали, покрытые внутри эмалью, емкостью $13,7$ м³ каждая. Торцовые стены кузова делают съемными для удобства монтажа цистерн, которые вдвигают через

лобовые стены вагона. Грузовой объем вагона охлаждается четырьмя двойными потолочными баками, загруженными льдом. Отопление вагона зимой водяное (котел с системой труб, подающих теплую воду).

В середине вагона между цистернами расположено служебное помещение для проводника. Над каждой цистерной установлен компенсационный бак емкостью 300 л, который заполняется вином (при увеличении его объема в случае повышения окружающей температуры). Вино наливают через штуцер, конец которого выводят на крышу вагона. Штуцер закрывают герметичной крышкой. Вино сливают через специальный вентиль в наружной части цистерны с резиновым шлангом, пропущенным через специальный люк в полу вагона. Цистерны снабжены мерным стеклом, по которому контролируют уровень вина при наливке и сливе.

Температуру вина и температуру воздуха в грузовом помещении определяют с помощью манометрических термометров, установленных в служебном отделении.

Вагоны для перевозки живой рыбы снабжены баками для воды, в которые загружают рыбу. Норма загрузки рыбы на 1 м³ воды зависит от степени насыщения воды кислородом, отсутствие которого в воде приводит к гибели рыбы. Насыщение воды кислородом называется аэрацией. Кроме естественной аэрации вследствие соприкосновения поверхности воды в баке с воздухом при распыливании и волнообразовании, вагоны для свежей рыбы снабжают установками для искусственной аэрации воды. Воду насыщают кислородом или путем разбрызгивания ее форсунками (при соприкосновении брызг с воздухом вода насыщается кислородом и освобождается от углекислого газа) или путем обогащения ее кислородом из баллонов.

Вагон разделен на грузовое помещение и служебное, где находится проводник. В грузовом помещении установлены два сварных бака: один объемом 17,2 м³, другой — 13,3 м³. Для уменьшения разбрызгивания воды в баках устроены волнорезы. Рядом с меньшим баком установлен бак с запасом воды, имеющий с первым общую дырчатую стенку. Рядом с большим баком установлен бак для льда, вмещающий 800 кг, предназначенных для охлаждения воды.

Для обогащения воды кислородом служат форсунки, разбрызгивающие воду и установленные на трубах, расположенных на 1 м выше верхних краев баков: над меньшим баком 42 форсунки, над большим — 78 форсунок.

Воду к форсункам подают центробежным насосом. В течение часа все количество воды, находящееся в баке, проходит через форсунки. Такая система аэрации позволяет применять хлорированную воду, так как при распылении вода освобождается от хлора. Грузовое и служебное помещения вентилируют. В служебном помещении под потолком находится осевой вентилятор мощностью 0,5 квт. Вентилятор засасывает наружный воздух и нагнетает его в воздухо-

вод, расположенный под потолком вагона. Через окна в воздуховоде свежий воздух поступает в вагон. В зимнее время в воздуховод нагнетают воздух, предварительно нагретый в кожухе сухо-воздушной печи.

§ 117. ВЕНТИЛИРОВАНИЕ ВАГОНОВ-ЛЕДНИКОВ

Вентилирование вагонов-ледников необходимо для удаления из грузового помещения воздуха, насыщенного парами и нежелательными газами, и замены этого воздуха свежим. При вентилировании следует в грузовой объем подавать чистый охлажденный воздух, не допуская повышения влажности воздуха в вагоне. Эти требования обеспечиваются стационарным вентилированием, проводимым на льдопунктах во время стоянки поездов. К грузам, требующим вентилирования, относятся мясные и рыбные продукты, перевозимые в соленом, вяленом и копченом виде, масло, сыр, яйца, плоды, овощи и др.

Вагоны с пристенными карманами вентилируют через льдозагрузочные люки. Один из карманов загружают льдом и солью с превышением количества соли на 25% против нормы. Лед загружают в карман до нижнего уровня горловины люка и устанавливают в нее переносный электровентилятор. Продолжительность вентилирования четырехосного вагона — 10 мин. Наружный воздух, проходя через льдосоляную смесь, охлаждается и поступает в вагон, отработанный воздух выбрасывается наружу через открытый второй льдозагрузочный люк. Второй льдозагрузочный люк открывают в момент включения в работу вентилятора. После вентилирования загружают льдом и солью второй карман и добавляют лед в первый. В пути вагоны вентилируют через льдозагрузочные люки, крышки которых ставят под углом 45°. Продолжительность вентилирования в пути — около 1 часа. Вагоны с потолочными баками вентилируют при движении поезда через специальные вентиляционные люки в крыше вагонов-ледников, крышки которых ставят под углом 45°.

§ 118. ПЕРЕВОЗКА ГРУЗОВ С ОТОПЛЕНИЕМ

Для перевозки молока, фруктов, вина, минеральной воды и многих других охлажденных грузов в зимнее время в вагонах-ледниках устанавливают печи. Температура воздуха в грузовом объеме вагона при перевозке многих охлажденных грузов должна поддерживаться от 0 до +5°, отдельные виды фруктов требуют температуры +10÷+12°C. Приборы отопления, устанавливаемые в вагонах, должны быть безопасны в пожарном отношении, просты и надежны

в обслуживании, экономичны в эксплуатации, не должны выделять вредных газов или запахов.

Для отопления специализированных вагонов ставят стационарные суховоздушные печи с выводом топочного отверстия сквозь продольную стенку вагона наружу.

В универсальных вагонах ставят переносные чугунные печи-временки типа «Хладотранспорт». Печь имеет колосниковую решетку, отверстия для загрузки топлива, притока воздуха и для присоединения дымовой трубы. Печь ставят на напольную решетку в середине вагона, крепят к решетке гвоздями или проволокой и выводят трубу через специальную разделку в крыше. Под печь кладут лист кровельной стали или лист асбеста. Эти печи работают на дровах или угле. Они просты в обслуживании, не занимают полезного объема при перевозке грузов без отопления, способствуют естественной вентиляции и удалению из помещения влажного воздуха. Но такие печи не обеспечивают равномерного распределения температур по объему вагона. Кроме того, наблюдаются большие колебания температуры во времени в связи с различной интенсивностью горения топлива в печи. Недостатком печей является также уменьшение грузового объема примерно на 15—25%.

Применяют печи ББГ — беструбного, бездымного горения. Это чугунные печи, в которые загружают 10 кг древесного угля. Их устанавливают через льдозагрузочные люки в решетчатые карманы. За 50 часов горения одной загрузки выделяется $28 \cdot 10^4$ кДж тепла.

Вагоны можно отапливать несъемными батареями водяного отопления, в которые подают горячую воду от паровоза или от котла центрального парового отопления. В вагонах с машинным охлаждением, где имеются дизель-генераторы, вагоны отапливают электропечами.

§ 119. ОРГАНИЗАЦИЯ ЛЬДОСНАБЖЕНИЯ ИЗОТЕРМИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТА

Вагоны-ледники обслуживают на льдопунктах. По характеру работы льдопункты разделяют на местные, транзитные и комбинированные.

Местные льдопункты обслуживают вагоны местной погрузки и их располагают на станциях с массовой погрузкой скоропортящихся грузов. Транзитные — снабжают льдом и солью вагоны, проходящие данный льдопункт транзитом. Комбинированные — снабжают льдосоляной смесью вагоны местной погрузки и транзитные.

На льдопунктах подготавливают подвижной состав под погрузку, снабжают вагоны льдом и солью, вентилируют вагоны, проверяют качество предназначенных для перевозки скоропортящихся грузов, правильность укладки грузов в вагонах, правильность

оформления документации, подготавливают вагоны для перевозки грузов с отоплением, организуют обслуживание перевозимой живности. Для выполнения этих функций льдопункты должны иметь необходимое оборудование: льдохранилище с запасами льда, солевое хранилище с запасом соли, эстакаду для снабжения вагонов-ледников льдом и солью, подэстакадные пути, механизмы и оборудование для подъема льда и соли на эстакаду, переносные вентиляторы и т. д. Расстояние между льдопунктами выбирают из расчета, чтобы количество тающего льда в пристенных карманах за время следования от одного льдопункта до другого не превышало 40% от первоначальной емкости, так как значительное уменьшение холодоотдающей поверхности приводит к повышению температуры в вагоне. Исходя из этой предпосылки, расстояние между льдопунктами (L км) определяют по формуле

$$L = zv, \quad (250)$$

где z — время (в ч), в течение которого лед в карманах тает на 40% от их емкости;

v — маршрутная скорость следования поезда, км/ч.

Практически льдопункты размещают на расстоянии 400—600 км один от другого.

При льдопунктах устраивают главным образом временные льдохранилища с твердым безбортовым основанием, постоянные охлаждаемые льдохранилища устраивают при льдозаводах искусственного льда.

Размер заготовок льда на льдопункте определяют объемом перевозок и подсчитывают по формуле

$$g = \frac{n_1 g_1 + n_2 g_2 + \Sigma g_3}{1 - \rho}, \quad (251)$$

где g — количество заготовленного льда, т/год;

n_1 — количество транзитных вагонов-ледников, подлежащих льдоснабжению;

g_1 — количество тонн льда, необходимое для пополнения одного транзитного вагона-ледника;

n_2 — количество вагонов-ледников местной погрузки;

g_2 — количество льда, загружаемого в вагон при первоначальной загрузке, т;

Σg_3 — суммарное количество льда за сезон, потребное для прочих нужд, т;

ρ — коэффициент, учитывающий таяние льда (для северной полосы равен 0,15, для средней — 0,20 и для южной — 0,30).

Норму укладки льда на 1 м^2 временного льдохранилища принимают от 3 до $4,5 \text{ м}^3$ при плотности льда $0,85—0,9 \text{ т/м}^3$. Высота укладки или наморозки льда составляет от 3,5 до 5,5 м.

Солехранилище устраивают под эстакадой или в отдельном помещении недалеко от эстакады, исходя из нормы укладки соли на 1 м^2 площади, равной $2,5 \text{ т}$, и из потребного запаса соли, который должен составлять 30—60-суточный расход.

Эстакады служат для удобства снабжения вагонов-ледников льдом. По конструкции их делят на деревянные, железобетонные, металлические и смешанные, по расположению относительно железнодорожных путей — на односторонние и островные.

Островные устраивают на льдопунктах с большим объемом работ с двух сторон от путей.

Ширина эстакады зависит от степени механизации работ по льдоснабжению и принимается примерно от 3 до 5 м, высота 4,2—6 м.

Эстакады бывают двухъярусные и одноярусные. При двухъярусной эстакаде нижний ярус на высоте 4,2 м от головки рельса служит для снабжения вагонов крупным льдом, верхний — на 2 м выше нижнего — для снабжения мелкодробленным льдом и солью.

Для подъема на эстакады служат трапы с углом наклона не более 25° .

Порядок льдоснабжения определяется родом и первичной подготовкой перевозимого груза. В карманы загружают чистый лед кусками весом 1—2 кг при льдосоляном охлаждении и 8 кг при ледяном охлаждении. Получение определенной температуры в грузовом помещении обеспечивается соотношением количеств льда и соли, загружаемых в карманы. Важен также порядок загрузки льда. Для получения лучшего холодильного эффекта первую треть кармана загружают одним льдом, вторую треть загружают льдом, добавляя 40% соли от общего количества, расходуемого на карман, в последнюю треть добавляют оставшиеся 60% соли. Льдоснабжение вагонов является очень тяжелой и трудоемкой операцией, требующей применения средств механизации. Механизация льдоснабжения позволит повысить производительность труда, ускорить процесс и повысить качество льдоснабжения за счет улучшения дробления льда, дозирования и перемешивания льда и соли. Применяемые средства механизации должны быть просты и удобны и не вызывать таяния льда при транспортировке его от хранилища до карманов. Существующие средства механизации позволяют обработать состав вагонов-ледников в течение 1—1,5 часов. Льдоснабжение может производиться эстакадным (рис. 197, а) и безэстакадным (рис. 197, б) способами. В первом случае лед и соль подают на эстакаду с помощью пластинчатых или ленточных транспортеров или нагруженные льдом и солью вагонетки поднимают на эстакаду электролебедкой. Для выколки льда из бунта применяют пневматические или электрические молотки или специальные льдовыкалыватели.

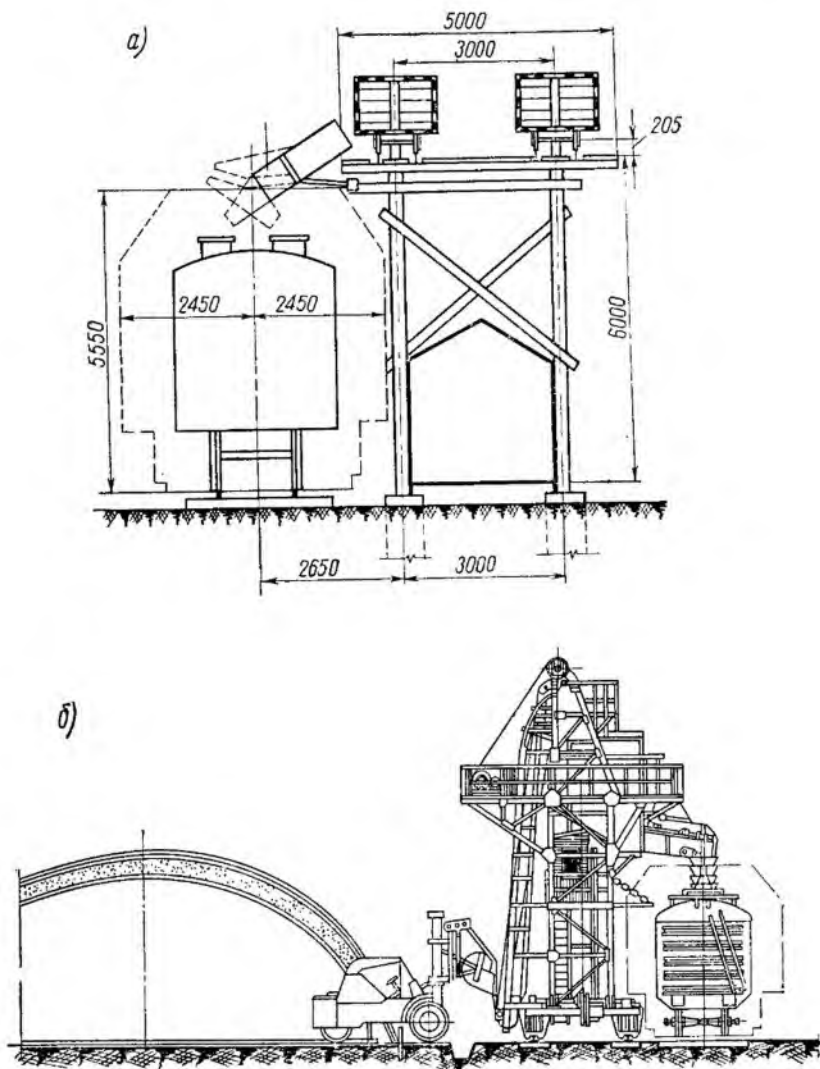


Рис. 197. Схемы механизации льдоснабжения вагонов-ледников:
 а — при эстакадном способе льдоснабжения; б — при безэстакадном способе льдоснабжения

При безэстакадном способе льдоснабжения вагонов-ледников используют самоходные и скиповые льдопогрузчики, ковшовые автопогрузчики с удлиненной рамой и др. Положительной стороной этого способа является то, что отпадает необходимость в устройстве эстакады, достигается почти 100-процентная механизация всех работ и доводятся до минимума затраты рабочей силы. Льдопогрузчик может производить льдоснабжение вагонов непосредственно на станционных путях, без подачи их на льдопункт.

§ 120. ПЕРЕДВИЖНЫЕ ЛЬДОЗАВОДЫ

Передвижные льдозаводы предназначены для обеспечения перевозок скоропортящихся грузов льдом на тех железнодорожных направлениях, где заготовка естественного льда по климатическим условиям затруднена, а строительство льдозавода для производства искусственного льда нецелесообразно. Льдозаводы размещают в трех-, четырехосных вагонах. Из них средний вагон служит машинным отделением, а два крайних — льдогенераторами. В каждом вагоне-льдогенераторе имеется льдогенератор блочного льда производительностью 10 т льда в сутки и охлаждаемое льдохранилище емкостью 3 м³. Из льдохранилища лед выдают через отверстие, имеющееся внизу продольных стен вагона, специальным подъемником подают на крышу и загружают в карманы вагонов-ледников, устанавливаемых на соседних путях.

§ 121. СТАНЦИИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ

Станции предварительного охлаждения служат для быстрого понижения температуры плодоовощей перед транспортировкой их по железным дорогам.

Существуют два типа станций предварительного охлаждения: 1) с охлаждением в вагонах и 2) с охлаждением в специальных камерах.

Основным оборудованием станций предварительного охлаждения является воздухоохладитель и воздушные каналы, соединяемые с льдозагрузочными люками изотермических вагонов. Холодильная установка и воздухоохладитель установлены в стационарном машинном отделении.

Охлаждение плодоовощей в вагоне осуществляется путем подачи в загруженный вагон воздуха, предварительно охлажденного в воздухоохладителе. Воздух подают через воздуховод, присоединенный к одному льдозагрузочному люку. Отопленный воздух отсасывают через воздуховод, присоединенный ко второму люку. Во избежание подмораживания плодоовощей, расположенных около

карманов, направление подачи холодного воздуха меняют через каждые 20—30 мин.

Недостаток такого охлаждения заключается в длительном простое вагонов.

Более целесообразны станции предварительного охлаждения камерного типа, представляющие собой несколько отдельных камер емкостью, равной емкости одного или двух вагонов, каждая с платформой для приема плодоовощей на охлаждение и для выдачи их в вагоны. Камеры имеют воздушное охлаждение. Холодный воздух нагнетают в камеру через воздуховод, расположенный у потолка камеры и снабженный окнами с заслонками, которые позволяют изменять направление движения холодного воздуха. Продолжительность охлаждения — 16—20 часов. Недостаток станций в большом объеме грузовых работ, связанном с двойной погрузкой плодоовощей сначала в камеры, затем в вагоны.

Применяют также передвижные станции предварительного охлаждения плодоовощей.

Холодильную установку холодопроизводительностью 70 000 вт, работающую на воздухоохладитель, монтируют в четырехосном вагоне. Этот вагон подают к вагонам-ледникам, загруженным плодоовощами. Соединив льдозагрузочные люки с воздухоохладителем с помощью рукавов, в грузовое помещение нагнетают холодный воздух. Продолжительность охлаждения зависит от начальной температуры плодоовощей и составляет примерно 5—8 часов.

§ 122. ВАГОНЫ И ПОЕЗДА С МЕХАНИЧЕСКИМ ОХЛАЖДЕНИЕМ

Как было указано выше, в действующем парке изотермических вагонов имеются изотермические 23-вагонные поезда, двенадцати-, пяти- и трехвагонные секции и вагоны с индивидуальным машинным охлаждением. Изотермический 23-вагонный поезд состоит из 20 цельнометаллических охлаждаемых вагонов, одного служебного вагона, вагона машинного отделения и вагона-дизель-электростанции. Охлаждение вагонов-холодильников рассольное.

Оборудование вагона-холодильника обеспечивает поддержание в грузовом объеме температуры -10°C при температуре наружного воздуха $+30$ и $+6^{\circ}\text{C}$ при температуре наружного воздуха -45°C . Вагон оборудован потолочными четырехсекционными рассольными батареями из оребренных труб поверхностью 200—220 м² (рис. 198). Теплоносителем служит рассол хлористого кальция. При достижении заданной температуры воздуха в вагоне датчик температуры, установленный в грузовом объеме, дает импульс, соленоидный вентиль на подающем трубопроводе закрывается и прекращает подачу холодного рассола в батареи. Таким образом в грузовом помещении поддерживают постоянную температуру воздуха. Конденсат,

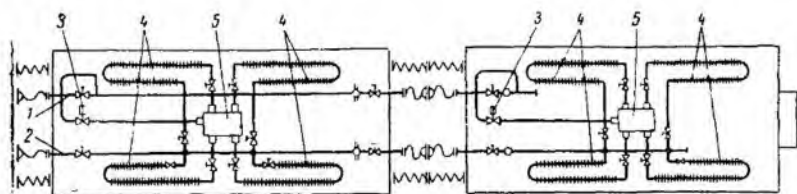


Рис. 198. Схема размещения рассольных батарей в изотермическом вагоне:

1 — трубопровод подачи рассола; 2 — обратный трубопровод; 3 — соленоидный вентиль; 4 — рассольные батареи; 5 — распределитель рассола

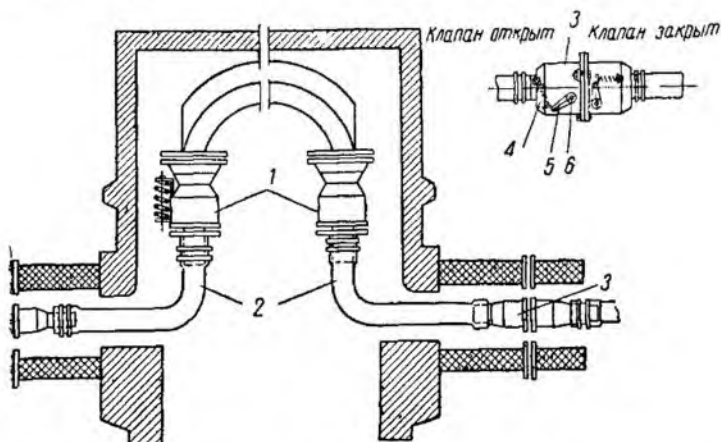


Рис. 199. Межвагонное соединение рассолопроводов:

1 — разъединительная головка; 2 — переходный рукав; 3 — соединительная головка; 4 — пружина; 5 — рычаг; 6 — ось

образующийся при таянии снеговой шубы, сливается в поддоны из оцинкованной стали толщиной 0,5 мм, подвешенные под батареями. Из желобов поддона вода стекает на пол вагона и через сифон сливается наружу. Рассол из вагона в вагон подается по переходным рукавам с соединительными головками и быстрозапирающимися разъединительными головками (рис. 199). В зимнее время вагон отапливают двухсекционными электропечами общей мощностью 6 квт. У каждой торцевой стены вагона установлено по три печи. Для циркуляции воздуха при перевозках грузов с отоплением и для вентиляции вагона в грузовом помещении установлен воздухопровод, сообщающийся с наружным воздухом и с электропечами. В воздуховоде размещены два вентилятора, по одному у каждой торцевой стены вагона. Это обеспечивает хорошее перемешивание воздуха и равномерное распределение температур по объему.

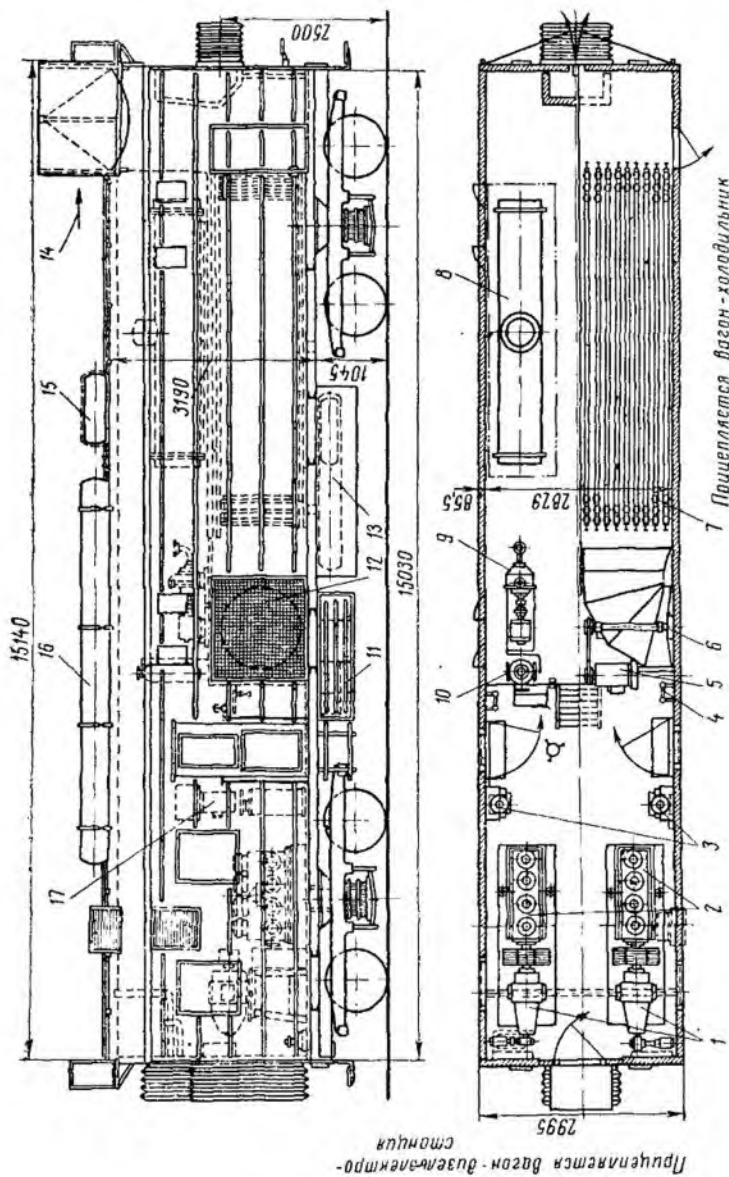


Рис. 200. Вагон-машинное отделение 23-вагонного поезда с машинным охлаждением:

- 1 — двигатель компрессора; 2 — аммиачный компрессор; 3 — пускатель; 4 — регулирующая станция; 5 — электродвигатель вентилятора; 6 — вентилятор конденсатора; 7 — конденсатор; 8 — испаритель; 9 — рассольный насос; 10 — маслоотделитель; 11 — ящик для запасных частей; 12 — выход воздуха; 13 — два резерва для аммиака; 14 — поступление воздуха; 15 — компенсационный рассольный бак; 16 — запасный бак рассола; 17 — защитный выключатель двигателя компрессора

Температуру воздуха в помещении измеряют электрическими ртутными контактными термометрами, термометрами сопротивления и ртутными манометрическими термометрами. Указатель температур установлен в вагоне-дизель-электростанции.

В вагоне-машинном отделении (рис. 200) установлены две аммиачные холодильные установки холодопроизводительностью по 102 000 *вт*. Каждая холодильная установка состоит из четырехцилиндрового компрессора, потребляющего мощность примерно 38 *квт*, воздушного конденсатора из оребренных труб поверхностью 800 *м*², вентилятора производительностью 10,5 *м*³/*сек*, подающего воздух на конденсатор, кожухотрубного рассольного испарителя с поверхностью охлаждения 35,2 *м*² и рассольного насоса производительностью 0,0975 *м*³/*сек*. Каждая холодильная машина обеспечивает холодом десять вагонов-холодильников. Схема трубопроводов (рис. 201) позволяет работать любой установкой на любую группу вагонов. В вагоне-дизель-электростанции установлены два главных четырехцилиндровых дизеля мощностью 7 355 *квт* каждый. С валом каждого дизеля эластичной муфтой соединен генератор трехфазного тока напряжением 220/380 *в*, мощностью 60 *квт*. Летом холодильную установку питают дизель-генераторы, зимой — электропечи. Кроме того, имеется вспомогательный дизель-генератор, используемый при перегрузке основных генераторов.

Двенадцативагонная секция с машинным охлаждением состоит из 10 вагонов-холодильников, вагона-машинного отделения и вагона-дизель-электростанции с отделением для обслуживающего персонала. Вагоны-холодильники двенадцативагонной секции служат для перевозки грузов при температурах от +12 до -15° С. В вагоне-машинном отделении установлены две холодильные установки, каждая из которых может работать на любую группу вагонов, состоящую из пяти вагонов. Холодопроизводительность каждой из установок равна 67 500 *вт*, что составляет 75% от общей потребности в холоде 10 вагонов. При температуре наружного воздуха выше +20° С холодильные установки работают по циклу двухступенчатого сжатия. При более низких температурах — по циклу одноступенчатого сжатия. Каждая холодильная установка состоит из четырехцилиндрового вертикального компрессора низкого давления с электродвигателями мощностью 20 *квт* и двухцилиндрового вертикального компрессора высокого давления с электродвигателем мощностью 14 *квт*, двух маслоотделителей, конденсатора с воздушным охлаждением поверхностью 540 *м*², вентилятора производительностью 13,9 *м*³/*сек* и кожухотрубного испарителя с рассольным насосом. На рис. 202 приведена схема холодильной установки двенадцативагонной секции. При работе по циклу двухступенчатого сжатия жидкий аммиак из конденсатора поступает в коллектор низкого давления регулирующей станции, а оттуда через барорегулирующий вентиль при автоматизированной работе машины или через ИРВ при ручном

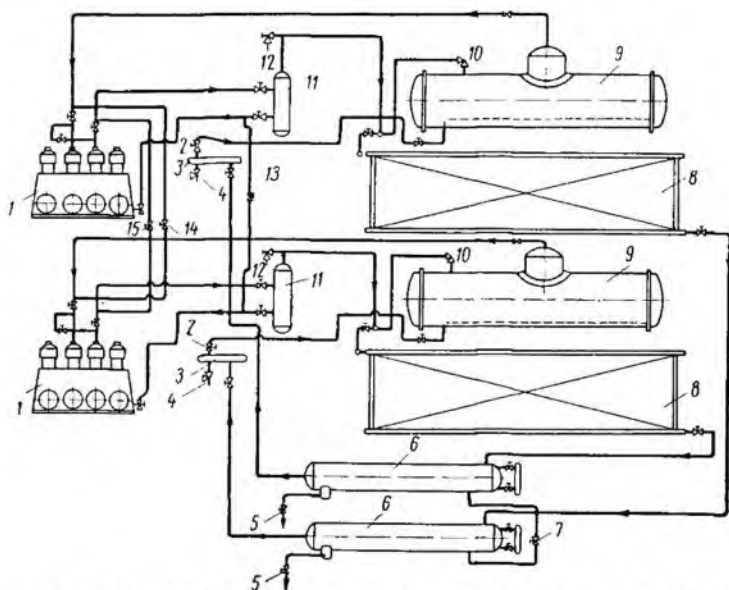


Рис. 201. Схема холодильной установки 23-вагонного поезда; 1 — компрессор; 2 — регулирующий вентиль; 3 — регулирующая станция; 4 — вентиль для зарядки системы аммиаком; 5 — вентиль для выпуска масла; 6 — ресивер; 7, 13, 14, 15 — вентили на трубопроводах, соединяющих машины № 1 и 2; 8 — конденсатор; 9 — кожухотрубный испаритель; 10 — предохранительный вентиль; 11 — маслоотделитель с поплавковым клапаном для перелуска масла в картер компрессора; 12 — вентиль для выпуска воздуха из системы

регулировании подается в промежуточный сосуд. Незначительная доля этой жидкости расходуется на охлаждение перегретого пара из ЦВД, а основное ее количество поступает в коллектор высокого давления регулирующей станции. Оттуда через второй барорегулирующий вентиль или ПРВ после второго дросселирования жидкий аммиак поступает в испаритель. При работе по циклу одноступенчатого сжатия промежуточный сосуд и ЦВД отключают, жидкость по обводной трубе перепускается из коллектора регулирующей станции низкого давления в коллектор регулирующей станции высокого давления и в испаритель.

Вагоны-холодильники представляют собой цельнометаллические четырехосные вагоны, изолированные мипорой, в грузовом помещении расположены рассольные потолочные батареи с поверхностью охлаждения 220 м^2 . Постоянство температуры в вагоне достигается периодическим прекращением подачи в батареи холодного рассола с помощью соленоидного вентиля, импульс которому дает датчик температуры, установленный в вагоне. Вагоны отапливают электронагревателями общей мощностью 8 квт . Для получения более

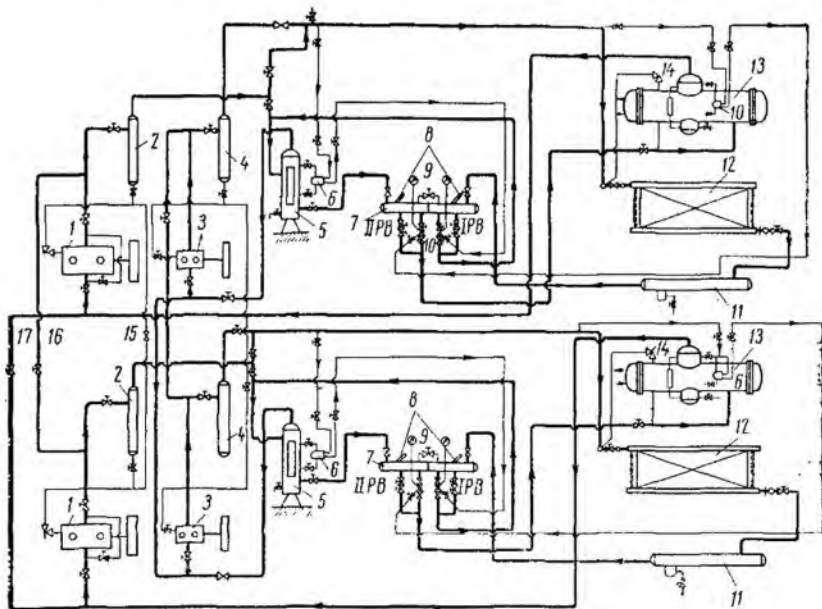


Рис. 202. Схема холодильной установки 12-вагонной секции:

1 — аммиачный компрессор — цилиндр низкого давления; 2 — маслоотделитель цилиндра низкого давления; 3 — аммиачный компрессор — цилиндр высокого давления; 4 — маслоотделитель цилиндра высокого давления; 5 — промежуточный сосуд; 6 — плавкавая камера; 7 — регулирующая станция; 8 — термометры; 9 — манометры; 10 — барорегулирующий вентиль; 11 — линейный ресивер; 12 — конденсатор; 13 — испаритель; 14 — предохранительный вентиль; 15—17 — вентили на трубопроводах, соединяющих машины № 1 и 2.

равномерной температуры воздуха в вагоне и для усиления циркуляции воздуха под потолком у торцовых стен вагона ставят вентилятор с однофазным электродвигателем мощностью 0,09 квт. От вентилятора отходят воздуховоды с окнами. При отоплении по воздуховоду подают подогретый в электропечах воздух.

Для вентиляции в каждом вагоне имеется два нагнетающих вентилятора с электродвигателями мощностью 0,09 квт и два вытяжных дефлектора.

В вагоне-дизель-электростанции установлены три дизель-генератора, состоящие из двигателя и генератора трехфазного тока, смонтированных на одной раме. В этом же вагоне находятся главный распределительный щит, баки для топлива, воды, смазки.

Пятивагонная секция предназначена, как и двенадцативагонная, для перевозки различных грузов при температурах $+12 \div +18^{\circ}\text{C}$.

Каждый вагон имеет машинное отделение, в котором установлены две фреоновые холодильные установки холодопроизводитель-

ностью 5530 *вт* (при $t_0 = -25^\circ \text{C}$, $t_k = +45^\circ \text{C}$ и $t_{\text{пер}} = +35^\circ \text{C}$), с воздушным конденсатором поверхностью 76 м^2 . Каждая установка спечивает 50% максимальной потребности вагона в холоде. В сг днем вагоне-секции размещена электростанция. Второй вагон имеет служебное помещение. Грузовое помещение имеет воздушное охлаждение. Воздух, охлажденный в испарителе — воздухоохлажденный, нагнетается в грузовое помещение, а отепленный воздух через циркуляционную щель засасывается вентилятором. Снеговую шубу удаляют с батареей путем периодического продувания через змеевики воздуха, отепленного с помощью электропечей, установленных в воздуховодах. Для отопления вагонов в зимнее время в каждом из них установлены электропечи общей мощностью 8 *квт*. На рис. 203 приведена схема фреоновых трубопроводов пятивагонной секции.

Схема управления позволяет производить пуск и остановку холодильных и отопительных установок из любого вагона, с главного распределительного щита электростанции или непосредственно со щита машинного отделения. Температуру в грузовых помещениях контролируют термометрами сопротивления, установленными в вагонах.

Трехвагонная секция может быть использована для перевозки любого груза, кроме охлажденного мяса, при температурах воздуха от -18 до $+12^\circ \text{C}$. Холодильная установка может также охладить фрукты и овощи за двое суток от температуры $+25$ до $+4^\circ \text{C}$. В каждом из трех вагонов расположено машинное отделение, а в среднем вагоне находится также дизель-электростанция. В одном из двух остальных вагонов имеется служебное отделение на два места. В каждом машинном отделении установлено по две холодильные установки холодопроизводительностью 4900 *вт* (при $t_0 = -27^\circ \text{C}$, $t_k = +37^\circ \text{C}$) каждая с воздушным конденсатором, поверхностью 6,2 м^2 .

Грузовое помещение имеет воздушное охлаждение с помощью воздухоохлаждителя, установленного у торцевой стены, примыкающей к машинному отделению. Воздух подают через воздуховод, разделенный по длине поперечной перегородкой на два отсека, верхний с боковыми настенными каналами служит для подачи теплого воздуха под напольные решетки, нижний — для подачи холодного воздуха через регулирующие жалюзи. Вагоны с индивидуальным охлаждением служат для перевозок небольших партий скоропортящихся грузов при температурах -20 до $+12^\circ \text{C}$. Холодильная установка состоит из двух фреоновых агрегатов холодопроизводительностью 5830 *вт* каждый при температуре кипения фреона -30°C . Привод осуществляется от двух дизель-генераторных установок мощностью 19 *квт* каждая.

Кроме машинного отделения, в вагоне имеется служебное отделение. В грузовое помещение подают воздух, предварительно ох-

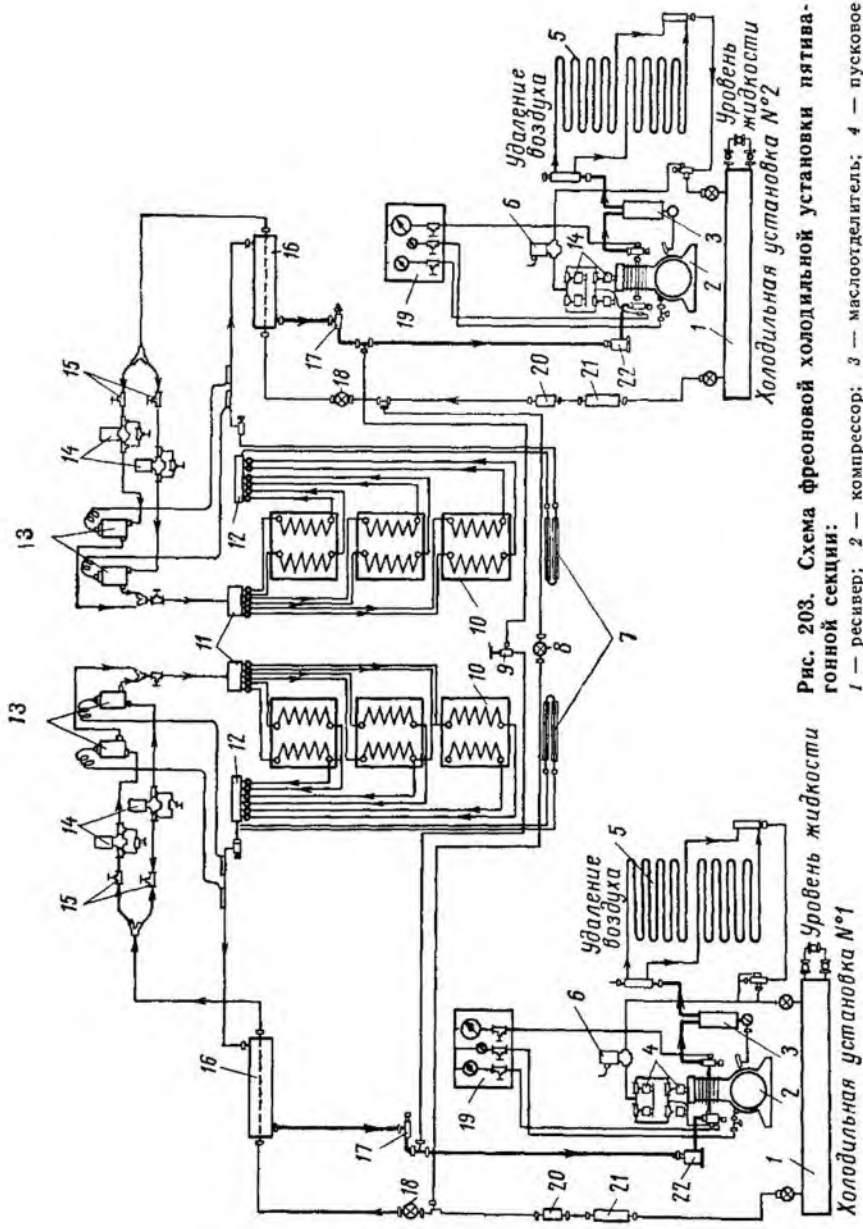


Рис. 203. Схема фреоновой холодильной установки пятиягонной секции:

1 — ресивер; 2 — компрессор; 3 — маслоуделитель; 4 — пусковое устройство компрессора; 5 — конденсатор; 6 — пусковой соленоидный вентиль; 7 — соединительный вентиль на жидкостной линии; 8 — соединительный вентиль на паровой линии; 9 — жидкостный коллектор; 10 — паровой коллектор; 11 — терморегулирующий вентиль; 12 — запорный вентиль; 13 — теплообменник; 14 и 15 — запорные вентили; 16 — манометровый щит; 17 — осушитель; 18 — паровой фильтр; 19 — механической очистки; 20 — паровой фильтр; 21 — осушитель; 22 — паровой фильтр.

лаженный в воздухоохладителе непосредственного охлаждения. Грузовое помещение имеет приточно-вытяжную вентиляцию. Для измерения температур служат пять термометров сопротивления, показания которых выведены в машинное отделение.

§ 123. КАЛОРИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ИЗОТЕРМИЧЕСКОГО ВАГОНА

Цель теплового расчета состоит в том, чтобы определить общий теплоприток в вагон за сутки и на основании полученной величины подобрать соответствующее холодильное оборудование. Для выполнения калорического расчета необходимо знать размеры вагона, задаться конструкцией ограждений, температурой наружного воздуха и воздуха в вагоне. Все тепло, поступающее в грузовое помещение вагона, определяют как сумму:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6, \quad (252)$$

где Q_1 — количество тепла, поступающее в вагон путем теплопередачи, вследствие разности температур внутри вагона и вне его, *вт*;

Q_2 — количество тепла, поступающее в вагон через неплотности в дверях и люках, *вт*;

Q_3 — количество тепла, проникающее в вагон в результате солнечной радиации, *вт*;

Q_4 — количество тепла, вносимое в вагон воздухом при вентиляции вагона, *вт*;

Q_5 — тепло, отнимаемое от ограждения кузова и внутреннего оборудования вагона при их охлаждении, *вт*;

Q_6 — количество тепла, отнимаемое от груза при его охлаждении в вагоне, *вт*.

1. Тепло, поступающее в вагон вследствие теплопередачи, определяют по формуле

$$Q_1 = k_b F_b (t_n - t_b), \quad (253)$$

где k_b — средневзвешенный коэффициент теплопередачи кузова вагона, *вт/м²·град*;

F_b — наружная поверхность кузова вагона, *м²*;

t_n — температура наружного воздуха, °C;

t_b — температура воздуха в вагоне, °C.

2. Средневзвешенный коэффициент теплопередачи k_b определяют по формуле

$$k_b = \frac{F_{ст}k_{ст} + F_{п}k_{п} + F_{кр}k_{кр}}{F_{ст} + F_{п} + F_{кр}}, \quad (254)$$

где $F_{ст}$, $F_{п}$, $F_{кр}$ — величины поверхностей стен, пола и крыши, *м²*;
 $k_{ст}$, $k_{п}$, $k_{кр}$ — коэффициенты теплопередачи отдельных ограждений, *вт/м²·град*.

Изоляционная конструкция изотермического вагона пересечена металлическими или деревянными конструкциями, которые являются тепловыми мостиками и увеличивают коэффициент теплопередачи конструкции. Коэффициент теплопередачи для участков, не содержащих тепловых мостиков, определяют по формуле

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_n} + \sum \frac{\delta_l}{\lambda_l} + \frac{1}{\alpha_b}}, \quad (255)$$

где α_n — коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности ограждения к окружающему воздуху. Значение α_n при скорости движения воздуха до 2,5 м/сек принимают равным 29,2 $вт/м^2 \cdot град$, при большей скорости движения воздуха w (м/сек) величину α_n определяют по формуле

$$\alpha_n = 4,86 + 17,4 \sqrt{w}; \quad (256)$$

α_b — коэффициент теплоотдачи от внутренней поверхности ограждения к воздуху вагона. Величину α_b принимают при естественной циркуляции воздуха равной, 7—9,3 $вт/м^2 \cdot град$; при побудительной циркуляции 17,5—23,3 $вт/м^2 \cdot град$; δ_l — толщина слоев материала изоляционной конструкции, м; λ_l — соответствующие коэффициенты теплопроводности материалов, $вт/м^2 \cdot град$.

Для участков, содержащих металлические и другие включения, являющиеся тепловыми мостиками, формула (255) неприменима и коэффициент теплопередачи определяют методами Ниточкина-Иозельсона, Мачинского и других, приведенными в специальной литературе. Эти методы сложны, поэтому иногда определяют коэффициент k для отдельных ограждений по формуле (255), затем находят средний коэффициент теплопередачи и увеличивают его значение для учета тепловых мостиков. Величину, на которую следует увеличить коэффициент теплопередачи, определяют на основании исследования существующих вагонов аналогичной конструкции.

2. Количество тепла, проникающее в вагон через неплотности, точно определить невозможно, поэтому величину Q_2 принимают приближенно равной 10% от величины Q_1 :

$$Q_2 = 0,1 Q_1. \quad (257)$$

3. Теплоприток от солнечной радиации Q_3 определяют по формуле

$$Q_3 = F_p k_b (t_m - t_b), \quad (258)$$

где F_p — наружная поверхность кузова, подвергающаяся солнечному облучению; величину F_p принимают равной 30—40% от величины F_b ;

t_m — максимальная температура поверхности, принимаемая равной 40—50° С.

Численная величина Q_3 составляет примерно 15% от Q_1 . Упрощая расчет, сумму теплопритоков $Q_2 + Q_3$ определяют процентом от Q_1 . Для этого вводят коэффициент β , значение которого принимают равным 1,2—1,3. Тогда количество тепла, поступающее в вагон посредством теплопередачи с учетом теплопритоков от солнечной радиации и прочих теплопритоков, определяют по формуле

$$Q_T = F_B k_B \beta (t_n - t_B). \quad (259)$$

4. Тепло, поступающее в вагон с наружным воздухом при вентилировании, определяют по формуле

$$Q_4 = nV_B \rho (i_n - i_B) \frac{1}{24 \cdot 3600}, \quad (260)$$

где n — кратность вентилирования в сутки, принимаемая равной 1—3;

V_B — полный внутренний объем вагона, m^3 ;

ρ — плотность наружного воздуха, kg/m^3 ;

i_n, i_B — теплосодержание наружного воздуха и воздуха в вагоне, $дж/кг$.

5. Тепло, отнимаемое от ограждения кузова и внутреннего оборудования вагона при их охлаждении, определяют по формуле

$$Q_5 = \left[(G_1 c_1 + G_2 c_2 + G_3 c_3) \frac{t_n - t_B}{2} \right] \frac{1}{24 \cdot 3600}, \quad (261)$$

где G_1, G_2, G_3 — соответственно масса дерева, металла, изоляции, образующих ограждение кузова, $кг$;

c_1, c_2, c_3 — соответствующие теплоемкости материалов, составляющих кузов, $дж/кг \cdot град$.

Для стационарного режима $Q_5 = 0$. Это тепло учитывается лишь для расчета первоначального охлаждения вагона.

6. В том случае, если груз, загруженный в вагон, имеет температуру более высокую, чем температура воздуха в вагоне, то охлаждение груза происходит в вагоне.

Количество тепла, отнимаемое от груза при его охлаждении в вагоне, определяют по формуле

$$Q_6 = [(G_{гр} c_{гр} + G_T c_T) \Delta t + q_{гр}] \frac{1}{24 \cdot 3600}, \quad (262)$$

где $G_{гр}, G_T$ — масса груза и тары, $кг$;

$c_{гр}, c_T$ — теплоемкость груза и тары, $дж/кг \cdot град$;

$q_{гр}$ — тепло, выделяемое в процессе жизнедеятельности свежими фруктами, ягодами и овощами, $дж/сутки$;

Δt — понижение температуры груза и тары за сутки, $^{\circ}C$.

Практически редко бывает наличие всех шести теплопритоков, поэтому в каждом частном случае следует отдельно рассматривать, какие теплопритоки следует учитывать.

§ 124. НАЗНАЧЕНИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ АВТОРЕФРИЖЕРАТОРОВ

Авторефрижераторы служат для межгородских и внутригородских перевозок небольших партий скоропортящихся грузов при температурах ниже температуры окружающей среды. Использование автомашин большой грузоподъемности [ГАЗ-51 (2,5 т), ЗИЛ-150 (4 т) и других] с одноосными и двухосными прицепами позволяет увеличить радиус действия авторефрижераторов до 1500—2000 км. Изотермический автотранспорт развивается по пути увеличения длины маршрутов и увеличения грузоподъемности авторефрижераторов.

Авторефрижераторы обеспечивают быстроту доставки продуктов к потребителю, имеют лучшие температурные режимы, чем вагоны-ледники, позволяют перевозить грузы малыми партиями.

Такой транспорт подразделяют на автомобили-холодильники, полуприцепы-холодильники, прицепы-холодильники.

Кузов автомобиля-холодильника устанавливают на шасси легкового или грузового автомобиля. Полезная грузоподъемность его колеблется от 150 кг до 5 т.

Кузов полуприцепа-холодильника закрепляют на шасси полуприцепа, ведомого седельным тягачом. Полезная грузоподъемность полуприцепов — от 2,5 до 16 т.

Кузов прицепа-холодильника монтируют на шасси одноосных или двухосных автоприцепов. Полезная грузоподъемность одноосных примерно 0,5 т, двухосных — от 1 до 3 т.

Начинают применять также мотохолодильники, у которых кузов установлен на мотоцикле или мотороллере. Используют автопоезда, состоящие из автомобиля-холодильника с одним или несколькими одноосными или двухосными автоприцепами.

Имеется опыт спаривания в один автопоезд двух автомобиль-холодильников, управляемых одним водителем,

§ 125. СПОСОБЫ ОХЛАЖДЕНИЯ АВТОРЕФРИЖЕРАТОРОВ

Грузовой объем может иметь льдосоляное или зероторное охлаждение, охлаждение сухим льдом или машинное охлаждение. Ледяное и льдосоляное охлаждение не обеспечивает постоянного и равномерного поддержания низких температур в грузовом объеме, поэтому, несмотря на простоту устройства и малую стоимость оборудования, оно может применяться ограниченно. Приборы охлаждения представляют собой съемные металлические бачки из оцинкованной стали, подвешиваемые к верхней части продольных стен и заполняемые льдом или льдом и солью.

Поверхность охлаждения увеличивают оребрением бачков. Бачки не имеют слива образовавшегося рассола и снабжены крышками, чтобы рассол не выплескивался. Ледяное охлаждение позволяет поддерживать в грузовом объеме температуру примерно $+6^{\circ}\text{C}$, льдосоляное охлаждение -6°C .

Ледяное и льдосоляное охлаждение авторефрижераторов применяют главным образом при перевозке сельскохозяйственных продуктов. К недостаткам этих способов охлаждения относятся сырость и грязь в грузовом помещении, большая трудоемкость при загрузке льдосоляной смеси в бачки, коррозия бачков и пола вагона от рассола.

Зероторное охлаждение, или охлаждение эвтектиком, состоит в том, что в грузовом объеме у стен кузова подвешивают зероторы (герметично закрытые формы), заполненные замороженными эвтектическими растворами. Охлаждение воздуха происходит за счет теплоты плавления замороженного раствора. Низкая постоянная температура плавления эвтектического раствора позволяет получить в охлаждаемом объеме примерно постоянную температуру воздуха. После плавления и некоторого нагревания раствора зероторы заменяют новыми с замороженным раствором, а использованные зероторы помещают в камеры зарядной станции для замораживания. Большой объем грузовых работ при замене одних зероторов другими, связанность с зарядными станциями, большая коррозия зероторов от действия раствора являются существенными недостатками этого способа охлаждения.

Охлаждение эвтектиками может производиться с помощью приборов охлаждения, представляющих собой плоские баки, заполненные эвтектическим раствором, в которые встроены змеевики из оребренных труб. Такой способ называется аккумуляционным охлаждением. Змеевики присоединяют с помощью гибких шлангов к аммиачной холодильной установке и подают в них жидкий аммиак, замораживая эвтектический раствор. Замороженного раствора хватает примерно на 12 часов работы авторефрижератора при температуре наружного воздуха $+30^{\circ}\text{C}$. Для увеличения поверхности теплопередачи стенки баков выполняют из гофрированных листов.

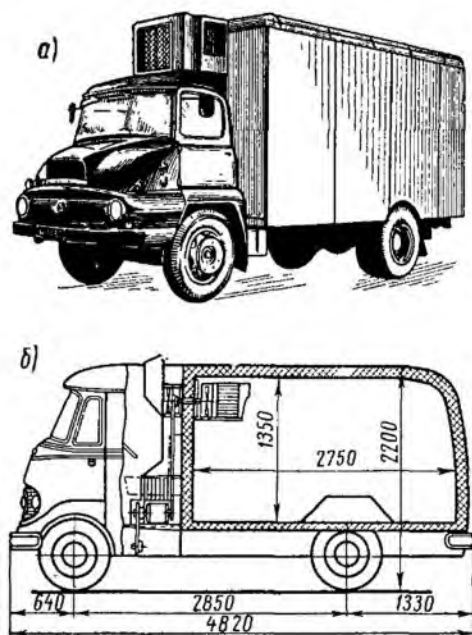


Рис. 204. Авторефрижераторы с машинным охлаждением:

а — с автономным холодильным агрегатом над кабиной; б — с расположением компрессора под сидением водителя

кузове поддерживаются высокие санитарные условия. Сухой лед можно использовать при перевозках грузов, например мороженого, без приборов охлаждения. В этом случае разбитый на куски сухой лед кладут на коробки с грузом или насыпают на ребристую алюминиевую плиту, расположенную под потолком кузова. Применяют также сухоледное охлаждение с выделением образующихся паров углекислоты наружу. Основным недостатком сухоледного способа охлаждения — высокая стоимость сухого льда, вследствие чего его применяют главным образом для перевозки мороженого.

Более удобным является охлаждение кузова с помощью холодильного агрегата-автомата, устанавливаемого в авторефрижераторе (рис. 204).

Авторефрижераторы с машинным охлаждением различаются местом расположения машинного отделения, системой охлаждения кузова и родом силового привода.

Машинное отделение размещают под изолированным кузовом, над кабиной шофера или в выделенном машинном отделении, для которого отделяют по всей ширине часть объема кузова. В этом слу-

Кроме аккумуляционного охлаждения с замораживанием эвтектика от центральной стационарной холодильной установки, применяют аккумуляционное охлаждение с замораживанием раствора с помощью холодильной машины, установленной на самом авторефрижераторе и получающей энергопитание на стоянках от внешней электросети. Такой способ охлаждения меньше связывает авторефрижератор с зарядной станцией, но при нем надо возить холодильную машину, используемую только на остановках.

Охлаждение сухим льдом позволяет получить достаточно низкие температуры воздуха в грузовом объеме; металлические части оборудования не подвергаются коррозии, в ку-

чае машинное отделение не изолируют и снабжают двумя дверями.

Авторефрижераторы имеют воздушное или батарейное охлаждение. В первом случае в кузове ставят воздухоохладитель из оребренных труб, через который вентилятор прогоняет воздух, во втором кузове у потолка или в верхней трети продольных стен устанавливают батареи непосредственного охлаждения из оребренных труб.

Привод холодильной машины может осуществляться двигателем внутреннего сгорания, установленным в машинном отделении авторефрижератора, или путем отбора мощности от коробки передач. Применяют также комбинированное питание электродвигателя компрессора. К компрессору ставят два электродвигателя: постоянного и переменного тока. Первый питают постоянным током во время движения машины, второй — переменным током от внешнего стационарного источника во время стоянок.

Привод холодильных компрессоров небольших авторефрижераторов осуществляют от коленчатого или распределительного вала двигателя автомашины. При этом компрессоры ставят на двигателе под капотом, а конденсатор — впереди радиатора и обдувают его встречным потоком воздуха.



ВОДНЫЙ ХОЛОДИЛЬНЫЙ ТРАНСПОРТ

§ 126. КЛАССИФИКАЦИЯ ВОДНОГО РЕФРИЖЕРАТОРНОГО ТРАНСПОРТА

Рефрижераторные суда используют для перевозки скоропортящихся продуктов по водным магистралям страны, а также за ее пределами и в рыбном промысле для охлаждения, замораживания и транспортирования свежей рыбы.

Суда-рефрижераторы делят на транспортные и транспортно-промысловые. Первые в свою очередь бывают грузовые и товарно-пассажирские, вторые обслуживают рыбную промышленность и делятся на траулеры и рыбоморозильные суда.

По роду главных двигателей рефрижераторы подразделяют на суда с поршневыми двигателями, турбоэлектроходы, теплоходы, дизель-электроходы и несамоходные буксирные баржи.

По роду материала рефрижераторы делят на деревянные, металлические, пластмассовые, композитные (одна часть деталей выполнена из металла, другая — из дерева). Наиболее распространены стальные рефрижераторы.

Водный холодильный транспорт имеет ряд преимуществ по сравнению с железнодорожным: 1) рефрижераторный тоннаж стоит дешевле равновеликой емкости железнодорожных вагонов-ледников; 2) рефрижераторный тоннаж может быть использован для перевозки в обе стороны рейса любых (требующих и не требующих охлаждения) грузов, не имеющих сильного запаха и не портящих холодильного оборудования трюмов.

Вагоны-ледники чаще всего используют только в одном направлении, поэтому они подлежат срочному возврату.

На судах-рефрижераторах рыбной промышленности, кроме охлаждаемых трюмов, бывает предусмотрено изготовление водного льда, применяемого для пересыпки рыбы. Для этой цели ставят льдогенераторы чешуйчатого льда.

§ 127. ВЫБОР СПОСОБА И СХЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ

Выбор способа охлаждения рефрижераторных емкостей зависит от назначения судна и рода перевозимого груза. Применяют непосредственное охлаждение, рассольное, воздушное и смешанное.

Непосредственное охлаждение, будучи наиболее экономичным способом, позволяющим получить наиболее компактную холодильную установку, в условиях качки и возможных ударов груза о батареи и трубопроводы не обеспечивает безопасной работы и достаточной плотности соединений. Кроме того, батареи при загруженных трюмах недоступны для наблюдения. Поэтому такое охлаждение разрешают как исключение и только в тех случаях, когда обеспечен свободный доступ ко всем аппаратам, заполненным холодильным агентом. Непосредственное охлаждение применяют главным образом для провизионных камер, обслуживаемых фреоновыми агрегатами — автоматами, которые ставят поблизости от провизионной камеры.

Для охлаждения трюмов и твиндеков применяют главным образом рассольное охлаждение с испарителями закрытого типа и воздушное охлаждение. Для подачи рассола ставят два циркуляционных насоса. Снеговую шубу на батареях оттаивают горячим рассолом. Воздушное охлаждение применяют при перевозке грузов, требующих вентиляции. Смешанное охлаждение целесообразно применять при загрузке в трюмы неохлажденного груза, требующего в процессе перевозки охлаждения и вентиляции. При охлаждении работают батареи и воздухоохладитель. По окончании охлаждения работают только батареи, а воздухоохладитель включают в работу при периодической вентиляции. Судовые холодильные установки должны быть компактными и особенно надежными в работе, иметь малый вес, в их конструкции должна быть учтена работа в условиях качки, крена и дифферента.

Таким требованиям отвечают V-образные, W-образные и верообразные компрессоры в судовом исполнении с углубленным картером для улучшения условий смазки. Для получения низких температур применяют схемы двухступенчатого сжатия. В крупных установках целесообразно применять компрессоры, в которых высокая и низкая ступень выполнены в одном блоке, например компрессор ДАУ-80.

В качестве низкой ступени целесообразно применять ротационные компрессоры. В малых установках рационально использовать отдельные компрессоры для ЦНД и ЦВД, включаемые в схему так, чтобы каждый мог работать как одноступенчатый при отсутствии потребности в низких температурах.

Вследствие высокой стоимости рефрижераторного груза в правилах Регистра предусмотрено наличие на судне резервной холодильной установки. Поддержание заданной температуры в охлаждаемом

объеме должно обеспечиваться совместной работой двух компрессоров в течение 18 часов в сутки.

В качестве холодильных агентов применяют аммиак, фреон-12 и фреон-22.

На пассажирских и товарно-пассажирских судах аммиачное охлаждение применять не рекомендуется.



Приложения

Насыщенные пары аммиака

Температура (t), °C	Давление (p), ата	Удельный объем		Плотность	
		жидкости (v'), л/кг	пара (v''), м ³ /кг	жидкости (ρ'), кг/л	пара (ρ''), кг/м ³
-50	0,4169	1,4245	2,6250	0,7020	0,3810
-49	0,4421	1,4269	2,4850	0,7008	0,4024
-48	0,4687	1,4293	2,3531	0,6996	0,4250
-47	0,4965	1,4318	2,2298	0,6984	0,4485
-46	0,5257	1,4342	2,1140	0,6973	0,4730
-45	0,5563	1,4367	2,0052	0,6960	0,4987
-44	0,5883	1,4392	1,9032	0,6948	0,5254
-43	0,6218	1,4417	1,8072	0,6936	0,5533
-42	0,6569	1,4442	1,7169	0,6924	0,5824
-41	0,6936	1,4468	1,6319	0,6912	0,6128
-40	0,7319	1,4493	1,5520	0,6900	0,6443
-39	0,7719	1,4519	1,4768	0,6888	0,6771
-38	0,8137	1,4545	1,4058	0,6875	0,7113
-37	0,8574	1,4571	1,3388	0,6863	0,7469
-36	0,9029	1,4597	1,2756	0,6851	0,7839
-35	0,9504	1,4623	1,2160	0,6839	0,8224
-34	0,9998	1,4649	1,1598	0,6826	0,8622
-33	1,0514	1,4676	1,1065	0,6814	0,9038
-32	1,1051	1,4703	1,0561	0,6801	0,9469
-31	1,1609	1,4730	1,0086	0,6789	0,9915
-30	1,2191	1,4757	0,9635	0,6776	1,038
-29	1,2795	1,4784	0,9209	0,6764	1,086
-28	1,3424	1,4811	0,8805	0,6752	1,136
-27	1,4077	1,4839	0,8422	0,6739	1,187
-26	1,4755	1,4867	0,8059	0,6726	1,241
-25	1,5460	1,4895	0,7715	0,6714	1,296
-24	1,6191	1,4923	0,7388	0,6701	1,354
-23	1,6949	1,4951	0,7078	0,6689	1,413
-22	1,7736	1,4980	0,6783	0,6676	1,474
-21	1,8552	1,5008	0,6503	0,6663	1,538
-20	1,9397	1,5037	0,6237	0,6650	1,603
-19	2,0273	1,5066	0,5984	0,6637	1,671
-18	2,1180	1,5096	0,5743	0,6624	1,741
-17	2,2119	1,5125	0,5514	0,6612	1,814
-16	2,3091	1,5155	0,5296	0,6598	1,888
-15	2,4097	1,5185	0,5088	0,6585	1,965
-14	2,5137	1,5215	0,4889	0,6572	2,045
-14	2,5137	1,5215	0,4889	0,6572	2,045
-15	2,4097	1,5185	0,5088	0,6585	1,965
-13	2,6212	1,5245	0,4701	0,6560	2,127
-12	2,7324	1,5276	0,4520	0,6546	2,212
-11	2,8472	1,5307	0,4349	0,6533	2,299

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

(составил И. И. Левин)

Энтальпия, ккал/кг		Теплота парообразования (r), ккал/кг	Энтропия, ккал/кг·°К		r/T, ккал/кг·°К
жидкости (i')	пара (i'')		жидкости (S')	пара (S'')	
46,16	384,73	338,57	0,7830	2,3006	1,5176
47,15	385,14	337,99	0,7874	2,2956	1,5082
48,25	385,54	337,29	0,7923	2,2907	1,4984
49,29	385,95	336,66	0,7969	2,2859	1,4890
50,36	386,35	335,99	0,8016	2,2811	1,4795
51,43	386,75	335,32	0,8064	2,2764	1,4700
52,47	387,14	334,67	0,8109	2,2717	1,4608
53,53	387,54	334,01	0,8155	2,2671	1,4516
54,60	387,93	333,33	0,8201	2,2625	1,4424
55,68	388,32	332,64	0,8247	2,2579	1,4332
56,72	388,70	331,98	0,8293	2,2535	1,4242
57,77	389,09	331,32	0,8337	2,2490	1,4153
58,82	389,47	330,65	0,8382	2,2446	1,4064
59,91	389,85	329,94	0,8429	2,2403	1,3974
60,98	390,23	329,25	0,8473	2,2360	1,3887
62,05	390,60	328,55	0,8518	2,2317	1,3799
63,09	390,97	327,88	0,8562	2,2275	1,3713
64,18	391,34	327,16	0,8607	2,2233	1,3626
65,26	391,71	326,45	0,8652	2,2192	1,3540
66,31	392,07	325,76	0,8695	2,2151	1,3456
67,40	392,43	325,03	0,8741	2,2111	1,3370
68,46	392,79	324,33	0,8783	2,2070	1,3287
69,54	393,14	323,60	0,8828	2,2031	1,3203
70,61	393,49	322,88	0,8871	2,1991	1,3120
71,68	393,84	322,16	0,8914	2,1952	1,3038
72,77	394,19	321,42	0,8959	2,1914	1,2955
73,84	394,53	320,69	0,9001	2,1875	1,2874
74,91	394,87	319,96	0,9044	2,1837	1,2793
75,99	395,20	319,21	0,9087	2,1800	1,2713
77,07	395,54	318,47	0,9129	2,1762	1,2633
78,15	395,87	317,72	0,9173	2,1726	1,2553
79,23	396,19	316,96	0,9215	2,1689	1,2474
80,31	396,51	316,20	0,9258	2,1653	1,2395
81,39	396,83	315,44	0,9300	2,1617	1,2317
82,48	397,15	314,67	0,9342	2,1581	1,2239
83,57	397,46	313,89	0,9384	2,1546	1,2162
84,65	397,77	313,12	0,9426	2,1511	1,2085
84,65	397,77	313,12	0,9426	2,1511	1,2085
83,57	397,46	313,89	0,9384	2,1546	1,2162
85,74	398,08	312,34	0,9468	2,1476	1,2008
86,84	398,38	311,54	0,9509	2,1441	1,1932
87,92	398,68	310,76	0,9551	2,1407	1,1856

Температура (<i>t</i>), °С	Давление (<i>p</i>), ата	Удельный объем		Плотность,	
		жидкости (<i>v'</i>), л/кг	пара (<i>v''</i>), м ³ /кг	жидкости (<i>ρ'</i>), кг/л	пара (<i>ρ''</i>), кг/м ³
— 10	2,9658	1,5338	0,4185	0,6520	2,389
— 9	3,0883	1,5369	0,4028	0,6507	2,483
— 8	3,2147	1,5400	0,3878	0,6494	2,579
— 7	3,3452	1,5432	0,3735	0,6480	2,677
— 6	3,4798	1,5464	0,3599	0,6467	2,779
— 5	3,6186	1,5496	0,3468	0,6453	2,884
— 4	3,7617	1,5528	0,3343	0,6440	2,991
— 3	3,9092	1,5561	0,3224	0,6426	3,102
— 2	4,0612	1,5594	0,3109	0,6413	3,216
— 1	4,2179	1,5627	0,3000	0,6399	3,333
0	4,3791	1,5660	0,2895	0,6386	3,454
1	4,5452	1,5694	0,2795	0,6372	3,578
2	4,7161	1,5727	0,2698	0,6358	3,706
3	4,8920	1,5761	0,2606	0,6345	3,837
4	5,0730	1,5796	0,2517	0,6331	3,973
5	5,2591	1,5831	0,2433	0,6317	4,110
6	5,4505	1,5866	0,2351	0,6303	4,254
7	5,6473	1,5901	0,2273	0,6289	4,399
8	5,8495	1,5936	0,2198	0,6275	4,550
9	6,0573	1,5972	0,2126	0,6261	4,704
10	6,2707	1,6008	0,2056	0,6247	4,864
11	6,4900	1,6045	0,1990	0,6232	5,025
12	6,7151	1,6081	0,1926	0,6219	5,192
13	6,9462	1,6118	0,1864	0,6204	5,365
14	7,1834	1,6156	0,1805	0,6190	5,540
15	7,4267	1,6193	0,1748	0,6176	5,721
16	7,6764	1,6231	0,1693	0,6161	5,907
17	7,9325	1,6270	0,1641	0,6146	6,094
18	8,1950	1,6308	0,1590	0,6132	6,289
19	8,4643	1,6347	0,1541	0,6117	6,489
20	8,7402	1,6386	0,1494	0,6103	6,693
21	9,0230	1,6426	0,1449	0,6088	6,901
22	9,3128	1,6466	0,1405	0,6073	7,117
23	9,6069	1,6506	0,1363	0,6058	7,337
24	9,9136	1,6547	0,1322	0,6043	7,564
25	10,225	1,6588	0,1283	0,6028	7,794
26	10,544	1,6630	0,1245	0,6013	8,032
27	10,870	1,6672	0,1208	0,5998	8,278
28	11,204	1,6714	0,1173	0,5983	8,525
29	11,545	1,6757	0,1139	0,5968	8,780
30	11,895	1,6800	0,1106	0,5952	9,042
31	12,252	1,6844	0,1075	0,5937	9,302
32	12,618	1,6888	0,1044	0,5921	9,579
33	12,992	1,6932	0,1014	0,5906	9,862
34	13,374	1,6977	0,0986	0,5890	10,14
35	13,765	1,7023	0,0958	0,5874	10,44
36	14,164	1,7069	0,0931	0,5859	10,74
37	14,572	1,7115	0,0905	0,5843	11,05
38	14,989	1,7162	0,0880	0,5827	11,36
39	15,415	1,7209	0,0856	0,5811	11,68
40	15,850	1,7257	0,0833	0,5795	12,00

Продолжение прилож. 1

Энтальпия, ккал/кг		Теплота парообразования (r), ккал/кг	Энтропия, ккал/кг · °К		r/T , ккал/кг · °К
жидкости (i')	пара (i'')		жидкости (S')	пара (S'')	
89,01	398,97	309,96	0,9592	2,1373	1,1781
90,11	399,26	309,15	0,9633	2,1339	1,1706
91,21	399,55	308,34	0,9675	2,1306	1,1631
92,29	399,83	307,54	0,9716	2,1273	1,1557
93,41	400,12	306,71	0,9757	2,1240	1,1483
94,50	400,39	305,89	0,9797	2,1207	1,1410
95,59	400,66	305,07	0,9838	2,1175	1,1337
96,69	400,93	304,24	0,9879	2,1143	1,1261
97,79	401,20	303,41	0,9919	2,1111	1,1192
98,90	401,46	302,56	0,9959	2,1079	1,1120
100,00	401,72	301,72	1,0000	2,1048	1,1048
101,10	401,97	300,87	1,0040	2,1017	1,0977
102,21	402,22	300,01	1,0080	2,0986	1,0906
103,31	402,46	299,15	1,0120	2,0955	1,0835
104,44	402,71	298,27	1,0160	2,0924	1,0764
105,54	402,95	297,41	1,0200	2,0894	1,0694
106,65	403,18	296,53	1,0239	2,0864	1,0625
107,77	403,41	295,64	1,0279	2,0834	1,0555
108,89	403,64	294,75	1,0318	2,0804	1,0486
110,00	403,85	293,85	1,0359	2,0775	1,0416
111,12	404,08	292,96	1,0397	2,0745	1,0348
112,23	404,29	292,06	1,0436	2,0716	1,0280
113,35	404,49	291,14	1,0475	2,0687	1,0212
114,47	404,70	290,23	1,0515	2,0659	1,0144
115,61	404,90	289,29	1,0554	2,0630	1,0076
116,73	405,10	288,37	1,0593	2,0602	1,0009
117,86	405,30	287,44	1,0631	2,0574	0,9943
119,03	405,50	286,47	1,0671	2,0546	0,9875
120,12	405,67	285,55	1,0709	2,0518	0,9809
121,25	405,85	284,60	1,0747	2,0490	0,9743
122,40	406,03	283,63	1,0786	2,0463	0,9677
123,54	406,20	282,66	1,0824	2,0435	0,9611
124,70	406,37	281,67	1,0863	2,0408	0,9545
125,82	406,53	280,71	1,0901	2,0381	0,9480
126,97	406,70	279,73	1,0939	2,0354	0,9415
128,13	406,85	278,72	1,0977	2,0727	0,9350
129,27	406,99	277,72	1,1016	2,0301	0,9285
130,43	407,16	276,73	1,1053	2,0274	0,9221
131,59	407,30	275,71	1,1091	2,0248	0,9157
132,72	407,43	274,71	1,1129	2,0222	0,9093
133,88	407,56	273,68	1,1166	2,0196	0,9030
135,01	407,68	272,67	1,1203	2,0170	0,8967
136,20	407,81	271,61	1,1242	2,0144	0,8902
137,34	407,92	270,58	1,1279	2,0119	0,8840
138,52	408,04	269,52	1,1317	2,0093	0,8776
139,70	408,14	268,44	1,1354	2,0067	0,8713
140,87	408,25	267,38	1,1392	2,0042	0,8650
142,04	408,35	266,31	1,1429	2,0017	0,8588
143,20	408,43	265,23	1,1467	1,9992	0,8525
144,36	408,49	264,13	1,1503	1,9966	0,8463
145,57	408,57	263,00	1,1541	1,9941	0,8400

Физические свойства рассолов хлористого кальция

Удельный вес при темпера- туре +15°C	Градусы Боме при темпера- туре +15°	Содержание соли, %		Температура замерзания, °C	Теплоемкость, ккал/кг·°C					
		в растворе	на 100 частей воды		0	-10	-20	-30	-40	
1,00	0,1	0,1	0,1	0,0	1,003	—	—	—	—	—
1,05	7,0	5,9	6,3	-3,0	0,915	—	—	—	—	—
1,10	13,2	11,5	13,0	-7,1	0,836	—	—	—	—	—
1,15	18,9	16,8	20,2	-12,7	0,770	—	—	—	—	—
1,16	20,0	17,8	21,7	-14,2	0,758	0,764	—	—	—	—
1,17	21,1	18,9	23,3	-15,7	0,747	0,753	—	—	—	—
1,18	22,1	19,9	24,9	-17,4	0,737	0,742	—	—	—	—
1,19	23,1	20,9	26,5	-19,2	0,727	0,731	—	—	—	—
1,20	24,2	21,9	28,0	-21,2	0,717	0,721	—	—	—	—
1,21	25,1	22,8	29,6	-23,3	0,708	0,711	0,705	—	—	—
1,22	26,1	23,8	31,2	-25,7	0,700	0,702	0,696	—	—	—
1,23	27,1	24,7	32,9	-28,3	0,692	0,694	0,688	—	—	—
1,24	28,0	25,7	34,6	-31,2	0,685	0,686	0,680	—	—	—
1,25	29,0	26,6	36,2	-34,6	0,678	0,679	0,673	0,667	—	—
1,26	29,9	27,5	37,9	-38,6	0,671	0,672	0,666	0,660	—	—
1,27	30,8	28,4	39,7	-43,6	0,664	0,665	0,659	0,653	—	—
1,28	31,7	29,4	41,6	-50,1	0,658	0,658	0,652	0,646	—	—
1,286	32,2	29,9	42,7	-55,0	0,654	0,648	0,642	0,636	0,640	—
1,29	32,5	30,3	43,5	-50,6	0,651	0,645	0,639	0,633	0,634	—
1,30	33,4	31,2	45,4	-41,6	0,645	0,639	0,633	0,627	0,630	—
1,31	35,1	32,1	49,3	-27,1	0,639	0,633	0,626	0,620	0,621	—
1,32	34,2	33,0	47,3	-33,9	0,633	0,627	0,620	0,614	—	—
1,33	35,9	33,9	51,3	-21,2	0,627	0,621	0,614	—	—	—
1,34	36,7	34,7	53,2	-15,6	0,621	0,615	—	—	—	—
1,35	37,5	35,6	55,3	-10,2	0,616	0,609	—	—	—	—
1,36	38,3	36,4	57,4	-5,1	0,610	—	—	—	—	—
1,37	39,1	37,3	59,5	-0,0	0,604	—	—	—	—	—

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

**Плотность рассола CaCl_2 в зависимости
от концентрации и температуры**
(данные проф. Цыдзика), кг/л

Содержание соли в рас- творе, %	-30°	-20°	-10°	0°	10°	20°	30°
5				1,0488	1,0425	1,0402	1,0369
6				1,0528	1,0513	1,0489	1,0456
7				1,0619	1,0602	1,0577	1,0544
8				1,0710	1,0691	1,0664	1,0629
9				1,0802	1,0781	1,0753	1,0718
10				1,0895	1,0872	1,0843	1,0808
11				1,0989	1,0964	1,0934	0,0899
12				1,1083	1,1056	1,1025	1,0993
13				1,1178	1,1150	1,1117	1,1079
14				1,1274	1,1244	1,1210	1,1172
15			1,1396	1,1371	1,1340	1,1304	1,1261
16			1,1496	1,1469	1,1438	1,1399	1,1357
17			1,1597	1,1568	1,1534	1,1495	1,1451
18			1,1698	1,1667	1,1632	1,1592	1,1548
19			1,1801	1,1768	1,1731	1,1690	1,1645
20			1,1904	1,1869	1,1831	1,1788	1,1742
21		1,2046	1,2010	1,1972	1,1932	1,1889	1,1844
22		1,2150	1,2114	1,2075	1,2033	1,1989	1,1942
23		1,2260	1,2221	1,2180	1,2137	1,2092	1,2045
24		1,2369	1,2328	1,2285	1,2240	1,2194	1,2146
25		1,2481	1,2437	1,2392	1,2346	1,2299	1,2251
26	1,2634	1,2590	1,2545	1,2499	1,2452	1,2403	1,2354
27	1,2749	1,2703	1,2656	1,2608	1,2559	1,2510	1,2460
28	1,2868	1,2818	1,2768	1,2718	1,2668	1,2617	1,2567
29	1,2981	1,2930	1,2879	1,2828	1,2777	1,2725	1,2674
30	1,3098	1,2045	1,2933	1,2940	1,2888	1,2835	1,2783

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

Коэффициенты для перевода единиц различных систем в единицы системы СИ

Наименование величины	Система единиц	Единицы измерения	Сокращенное обозначение	Коэффициент для перевода к единицам СИ
Длина	СИ МКГСС СГС Внесистемные единицы	Метр	<i>м</i>	$1 \text{ см} = 1 \cdot 10^{-2} \text{ м}$ $1 \text{ мк} = 1 \cdot 10^{-6} \text{ м}$ $1 \text{ \AA} = 1 \cdot 10^{-10} \text{ м}$
		Метр	<i>м</i>	
		Сантиметр	<i>см</i>	
		Микрон	<i>мк</i>	
Ангстрем	<i>\AA</i>			
Масса	СИ МКГСС СГС Внесистемные единицы	Килограмм	<i>кг</i>	$1 \text{ кгс} \cdot \text{сек}^2/\text{м} = 9,80665 \text{ кг}$ $1 \text{ г} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$ $1 \text{ ц} = 1 \cdot 10^2 \text{ кг}$ $1 \text{ кгт} = 2 \cdot 10^{-4} \text{ кг}$
		Килограмм-сила-секунда в квадрате за метр	<i>кгс·сек²/м</i>	
		Грамм	<i>г</i>	
		Центнер	<i>ц</i>	
Карат	<i>к. т</i>			
Время	СИ МКГСС СГС Внесистемные единицы	Секунда	<i>сек</i>	$1 \text{ ч} = 36 \cdot 10^2 \text{ сек}$ $1 \text{ мин} = 6 \cdot 10 \text{ сек}$
		Секунда	<i>сек</i>	
		Секунда	<i>сек</i>	
		Час	<i>ч</i>	
Минута	<i>мин</i>			
Угловая скорость	СИ МКГСС СГС Внесистемные единицы	Радан в секунду	<i>рад/сек</i>	$1 \text{ об/мин} = \frac{\pi}{30} \text{ рад/сек}$ $1 \text{ об/сек} = 2\pi \text{ рад/сек}$
		Радан в секунду	<i>рад/сек</i>	
		Радан в секунду	<i>рад/сек</i>	
		Оборот в минуту	<i>об/мин</i>	
Оборот в секунду	<i>об/сек</i>			
Скорость	СИ МКГСС СГС	Метр в секунду	<i>м/сек</i>	$1 \text{ см/сек} = 1 \cdot 10^{-2} \text{ м/сек}$
		Метр в секунду	<i>м/сек</i>	
		Сантиметр в секунду	<i>см/сек</i>	

Продолжение прилож. 4

Наименование величин	Система единиц	Единицы измерения	Сокращенное обозначение	Коэффициент для приведения к единицам СИ
Площадь	СИ МКГСС СГС	Квадратный метр Квадратный метр Квадратный сантиметр	m^2 m^2 cm^2	$1\text{ см}^2 = 1 \cdot 10^{-4}\text{ м}^2$ $1\text{ а} = 1 \cdot 10^2\text{ м}^2$ $1\text{ га} = 1 \cdot 10^4\text{ м}^2$
	Внесистемные единицы	Ар Гектар	a $га$	
Объём	СИ МКГСС СГС	Кубический метр Кубический метр Кубический сантиметр	m^3 m^3 cm^3	$1\text{ см}^3 = 1 \cdot 10^{-6}\text{ м}^3$ $1\text{ л} =$ $= 1,000028 \cdot 10^{-3}\text{ м}^3$
	Внесистемные единицы	Литр	$л$	
Плотность	СИ МКГСС	Килограмм на кубический метр Килограмм-сила-секунда в квадрате на метр в четвертой степени	$кг/м^3$ $кгс \cdot сек^2/м^4$	$1\text{ кгс} \cdot сек^2/м^4 =$ $= 9,80665\text{ кг/м}^3$ $1\text{ г/см}^3 =$ $= 1 \cdot 10^3\text{ кг/м}^3$
	СГС	Грамм на кубический сантиметр	$г/см^3$	
Сила	СИ МКГСС СГС	Ньютон Килограмм-сила Дина Тонна-сила	$н$ $кгс$ $дин$ $тс$	$1\text{ кгс} = 9,80665\text{ н}$ $1\text{ дин} = 1 \cdot 10^{-5}\text{ н}$ $1\text{ тс} = 9806,65\text{ н}$
	Внесистемная единица			
Удельный вес	СИ	Ньютон на кубический метр	$н/м^3$	$1\text{ кгс/м}^3 =$ $= 9,80665\text{ н/м}^3$ $1\text{ дин/м}^3 =$ $= 1 \cdot 10\text{ н/м}^3$
	МКГСС	Килограмм-сила на кубический метр	$кгс/м^3$	
	СГС	Дина на кубический метр	$дин/м^3$	

Продолжение прилож. 4

Наименование величина	Система единиц	Единицы измерения	Сокращенное обозначение	Коэффициент для приведения к единицам СИ
Работа, энергия	СИ МКГСС СГС Внесистемная единица	Джоуль Килограмм-сила-метр Эрг Ватт-час	дж кгс·м эрг вт·ч	$1 \text{ кгс}\cdot\text{м} = 9,80665 \text{ дж}$ $1 \text{ эрг} = 1 \cdot 10^{-7} \text{ дж}$ $1 \text{ вт}\cdot\text{ч} = 3,6 \cdot 10^3 \text{ дж}$
Мощность	СИ МКГСС СГС Внесистемная единица	Ватт Килограмм-сила-метр в секунду Эрг в секунду Лошадиная сила	вт кгс·м/сек эрг/сек л. с.	$1 \text{ кгс}\cdot\text{м}/\text{сек} = 9,80665 \text{ вт}$ $1 \text{ эрг}/\text{сек} = 1 \cdot 10^{-7} \text{ вт}$ $1 \text{ л. с.} = 735,499 \text{ вт}$ $1 \text{ л. с.} = 75 \text{ кгс}\cdot\text{м}/\text{сек}$
Давление	СИ МКГСС СГС Внесистемные единицы	Ньютон на квадратный метр Килограмм-сила на квадратный метр Дина на квадратный сантиметр Бар Миллиметр ртутного столба Техническая атмосфера Миллиметр водяного столба	н/м ² кгс/м ² дин/см ² бар мм рт. ст. ат или кгс/см ² мм вод. ст.	$1 \text{ кгс}/\text{м}^2 = 9,80665 \text{ н}/\text{м}^2$ $1 \text{ дин}/\text{см}^2 = 1 \cdot 10^{-1} \text{ н}/\text{м}^2$ $1 \text{ бар} = 10^5 \text{ н}/\text{м}^2$ $1 \text{ мм рт. ст.} = 133,322 \text{ н}/\text{м}^2$ $1 \text{ ат} = 9,80665 \cdot 10^4 \text{ н}/\text{м}^2$ $1 \text{ мм вод. ст.} = 9,80665 \text{ н}/\text{м}^2$
Количество теплоты	СИ Внесистемные единицы	Джоуль Калория Килокалория	дж кал ккал	$1 \text{ кал} = 4,1868 \text{ дж}$ $1 \text{ ккал} = 4,1868 \cdot 10^3 \text{ дж}$
Удельная теплота	СИ Внесистемные единицы	Джоуль на килограмм Калория на грамм Килокалория на килограмм	дж/кг кал/г ккал/кг	$1 \text{ кал}/\text{г}$ $1 \text{ ккал}/\text{кг}$ } = $4,1868 \times 10^3 \text{ дж}/\text{кг}$

Продолжение прилож. 4

Наименование величин	Система единиц	Единицы измерения	Сокращенное обозначение	Коэффициент для приведения к единицам СИ
Удельная теплоемкость	СИ	Джоуль на килограмм-градус	<i>дж/кг·град</i>	$\left. \begin{array}{l} 1 \text{ кал/г} \\ 1 \text{ ккал/кг} \times \\ \times \text{град} \end{array} \right\} = 4,1868 \times 10^3 \text{ дж/кг} \times \times \text{град}$
	Внесистемные единицы	Калория на грамм-градус Килокалория на килограмм-градус	<i>кал/г·град</i> <i>ккал/кг</i> × × <i>град</i>	
Удельная энтропия	СИ	Джоуль на килограмм-градус Кельвина	<i>дж/кг·°К</i>	$\left. \begin{array}{l} 1 \text{ кал/г} \cdot \text{°К} \\ 1 \text{ ккал/кг} \times \\ \times \text{°К} \end{array} \right\} = 4,1868 \times 10^3 \text{ дж/кг} \times \times \text{°К}$
	Внесистемные единицы	Калория на грамм-градус Кельвина Килокалория на килограмм-градус Кельвина	<i>кал/кг·°К</i> <i>ккал/кг·°К</i>	
Тепловой поток	СИ	Ватт	<i>вт</i>	$\begin{array}{l} 1 \text{ кал/сек} = 4,1868 \text{ вт} \\ 1 \text{ ккал/ч} = 1,1630 \text{ вт} \end{array}$
	Внесистемные единицы	Калория в секунду Килокалория в час	<i>кал/сек</i> <i>ккал/ч</i>	
Удельный тепловой поток	СИ	Ватт на квадратный метр	<i>вт/м²</i>	$\begin{array}{l} 1 \text{ кал/см}^2 \cdot \text{сек} = \\ = 4,1868 \cdot 10^4 \text{ вт/м}^2 \\ 1 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{ч} = \\ = 1,1630 \text{ вт/м}^2 \end{array}$
	Внесистемные единицы	Калория на квадратный сантиметр-секунду Килокалория на квадратный метр-час	<i>кал/см²·сек</i> <i>ккал/м²·ч</i>	

Продолжение прилож. 4

Наименование величины	Система единиц	Единицы измерения	Сокращенное обозначение	Коэффициент для приведения к единицам СИ
Коэффициент теплоотдачи Коэффициент теплопередачи	СИ Внесистемные единицы	Ватт на квадратный метр-градус	$вт/м^2 \cdot град$	$1 \text{ кал}/см^2 \cdot сек \cdot град = 4,1868 \cdot 10^4 \text{ вт}/м^2 \times град$ $1 \text{ ккал}/м^2 \cdot ч \cdot град = 1,1630 \text{ вт}/м^2 \cdot град$
		Калория на квадратный сантиметр-секунду-градус Килокалория на квадратный метр-час-градус	$кал}/см^2 \times сек \cdot град$ $ккал}/м^2 \cdot ч \times град$	
Коэффициент теплопроводности	СИ Внесистемные единицы	Ватт на метр-градус Калория на сантиметр-секунду-градус Килокалория на метр-час-градус	$вт}/м \cdot град$ $кал}/см \times сек \cdot град$ $ккал}/м \cdot ч \times град$	$1 \text{ кал}/см \cdot сек \cdot град = 4,1868 \cdot 10^2 \text{ вт}/м \times град$ $1 \text{ ккал}/м \cdot ч \cdot град = 1,1630 \text{ вт}/м \cdot град$

ЛИТЕРАТУРА

- Андрачников Е. И., Каплан Л. Г. Эксплуатация холодильного оборудования в торговых предприятиях. М., Госторгиздат, 1962.
- Бадилькес И. С. Рабочие вещества холодильных машин. М., Пищепромиздат, 1952.
- Бадилькес И. С., Данилов Р. Л. Системы охлаждения с применением пароструйных приборов в качестве бустер-компрессоров. М., Госторгиздат, 1961.
- Бобков В. А. Исследование автоматического льдогенератора для производства дробленого пищевого льда. М., Госторгиздат, 1961.
- Бобков В. А. Производство и применение водного льда. М., Госторгиздат, 1961.
- Вейнберг Б. С. Поршневые компрессоры холодильных машин. М., Госторгиздат, 1960.
- Ильин Е. В., Мальгина Е. В. Холодильные машины и установки. М., Госторгиздат, 1960.
- Комаров Н. С. Справочник холодильщика. М., Машгиз, 1962.
- Кудряшов Н. Т., Душин И. Ф. Теплоизоляционные материалы и ограждающие конструкции холодильников. (Обзор зарубежной холодильной техники). М., Госторгиздат, 1956.
- Курылев Е. С., Герасимов Н. А. Холодильные установки. М., Машгиз, 1961.
- Мартынов М. С., Ниточкин А. Е., Гимпельвич С. Л. Холодильный транспорт. Госторгиздат, 1960.
- Маталасов С. Ф. Железнодорожный хладотранспорт. Всесоюзное издательско-полиграфическое объединение Министерства путей сообщения, 1960.
- Мещеряков Ф. Е. Основы холодильной техники. Госторгиздат, 1960.
- Покровский Н. К. Холодильные машины и установки. Пищепромиздат, 1960.
- Сафонов В. И. Строительные конструкции холодильников. Госторгиздат, 1960.
- Тезиков А. Д. Производство и применение сухого льда. Госторгиздат, 1960.
- Френкель М. И. Поршневые компрессоры. М., Машгиз, 1960. «Холодильная техника», 1950—1962.
- Холодильная техника. Энциклопедия, т. I, II, III, Госторгиздат, 1962.
- Чистяков Ф. М. Холодильные турбоагрегаты. Госторгиздат, 1960.
- Чуклин Г. С., Мартыновский В. С., Мельцер Л. З. Холодильные установки. М., Госторгиздат, 1961.

Оглавление

	<i>Стр.</i>
Предисловие	5
Условные обозначения элементов холодильных машин в схемах	6
Введение	8

РАЗДЕЛ ПЕРВЫЙ

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ХОЛОДИЛЬНО-КОМПРЕССОРНЫХ МАШИНАХ

Глава I.

Физические принципы получения низких температур

§ 1. Понятие о тепле и холоде	13
§ 2. Охлаждение при фазовых превращениях веществ	14
§ 3. Охлаждение путем расширения газов	17
§ 4. Охлаждение с помощью дросселирования (эффект Джоуля—Томсона)	17
§ 5. Охлаждение с помощью вихревого эффекта	18
§ 6. Термоэлектрическое охлаждение	19

Глава II.

Термодинамические основы холодильных машин

§ 7. Термодинамические процессы сжатия в компрессоре	20
§ 8. Первый и второй законы термодинамики	22
§ 9. Диаграммы $s-T$ и $i-lg p$	23
§ 10. Обратный цикл Карно	25
§ 11. Цикл теплового насоса	28

Глава III.

Холодильные агенты и теплоносители

§ 12. Холодильные агенты	30
§ 13. Теплоносители	36

Глава IV.

Холодильные машины, работающие с затратой внешней работы

§ 14. Воздушная холодильная машина	39
§ 15. Паровая холодильная машина с расширительным цилиндром	41

	<i>Стр.</i>
§ 16. Практические изменения, вносимые в теоретический цикл паровой холодильной машины	43
§ 17. Сокращение необратимых потерь цикла с регулирующим вентилем	49

Глава V.

Сложные циклы

§ 18. Многоступенчатое сжатие в компрессоре	51
§ 19. Циклы двухступенчатого сжатия	53
§ 20. Цикл трехступенчатого сжатия	61
§ 21. Каскадные циклы холодильных машин	65

Глава VI.

Компрессоры холодильных машин

§ 22. Назначение и классификация компрессоров холодильных машин	67
§ 23. Развитие конструктивных форм холодильных компрессоров	68
§ 24. Поршневые одноступенчатые компрессоры	71
§ 25. Поршневые многоступенчатые компрессоры	109
§ 26. Ротационные компрессоры	121
§ 27. Турбокомпрессоры (центробежные компрессоры)	125
§ 28. Винтовые компрессоры	133
§ 29. Действительный рабочий процесс поршневого компрессора	136
§ 30. Объемные потери действительного процесса компрессора	137
§ 31. Холодопроизводительность компрессора	140
§ 32. Энергетические потери и мощность компрессора	143
§ 33. Тепловой расчет и подбор одноступенчатого компрессора	146
§ 34. Тепловой расчет и подбор двухступенчатого компрессора	150
§ 35. Определение основных размеров поршневого компрессора	156
§ 36. Рабочий процесс ротационного компрессора	157
§ 37. Рабочий процесс турбокомпрессора	159

Глава VII.

Теплообменные аппараты холодильных установок

§ 38. Основы теплопередачи в холодильных аппаратах	164
§ 39. Конденсаторы	170
§ 40. Переохладители и теплообменники	187
§ 41. Устройства для охлаждения оборотной воды	189
§ 42. Испарители	193

Глава VIII.

Вспомогательное оборудование, арматура и трубопроводы

§ 43. Резервы	203
§ 44. Маслоотделители	205
§ 45. Маслосборатели	208
§ 46. Отделители жидкости	210
§ 47. Промежуточные сосуды	211

	<i>Стр.</i>
§ 48. Воздухоотделители	213
§ 49. Фильтры, осушители	215
§ 50. Арматура	217
§ 51. Трубы	223

Глава IX.

Холодильные машины, работающие с затратой тепла

§ 52. Термодинамические свойства и диаграммы растворов, применяемых в абсорбционных холодильных машинах	226
§ 53. Схемы и расчеты абсорбционных холодильных машин	227
§ 54. Аппараты абсорбционной холодильной машины	235
§ 55. Малые абсорбционные холодильные машины	238
§ 56. Пароэжекторные холодильные машины	240

РАЗДЕЛ ВТОРОЙ ХОЛОДИЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ

Глава X.

Холодильники

§ 57. Типы холодильников и их особенности	245
§ 58. Проектирование холодильных предприятий	248
§ 59. Определение емкости холодильника	249
§ 60. Определение основных размеров помещений холодильника	251
§ 61. Грузовой фронт холодильника	256
§ 62. Современные принципы планировки холодильников	262

Глава XI.

Изоляционные материалы и конструкции холодных сооружений

§ 63. Назначение изоляции	280
§ 64. Изоляционные материалы органического происхождения	282
§ 65. Изоляционные материалы минерального происхождения	285
§ 66. Пароизоляционные и гидроизоляционные материалы	287
§ 67. Изоляционные конструкции элементов здания холодильника	289
§ 68. Изоляционные конструкции малых холодильников	298
§ 69. Расчет толщины изоляционного слоя	299
§ 70. Изоляционные работы	305

Глава XII.

Способы охлаждения камер и камерное оборудование

§ 71. Классификация способов охлаждения	309
§ 72. Анализ непосредственного охлаждения	311
§ 73. Рассольное охлаждение	312

	<i>Стр.</i>
§ 74. Воздушное охлаждение	314
§ 75. Смешанное охлаждение	316
§ 76. Конструкции батарей непосредственного охлаждения	316
§ 77. Рассольные батареи	327
§ 78. Расчет батарей	329
§ 79. Общие понятия о влажном воздухе	331
§ 80. Воздухоохладители	334
§ 81. Расчет воздухоохладителей	339
§ 82. Подбор вентиляторов	341
§ 83. Кондиционирование воздуха	345
§ 84. Кондиционеры	346

Глава XIII.

Схемы холодильных установок

§ 85. Требования, предъявляемые к схемам	351
§ 86. Безнасосные схемы непосредственного охлаждения	352
§ 87. Насосные схемы непосредственного охлаждения	359
§ 88. Схемы двухступенчатого сжатия	364
§ 89. Схемы фреоновых холодильных машин	368
§ 90. Схемы оттаивания снеговой шубы с батареями непосредственного охлаждения	370
§ 91. Рассольные схемы	372
§ 92. Оттаивание снеговой шубы с рассольных батарей	375

Глава XIV.

Калорический расчет

§ 93. Выбор расчетного периода	377
§ 94. Калорический расчет	379

Глава XV.

Мелкие холодильные установки

§ 95. Торговое холодильное оборудование	391
§ 96. Домашние холодильники	394

РАЗДЕЛ ТРЕТИЙ

ЛЬДОТЕХНИКА

Глава XVI.

Естественный водный лед

§ 97. Физические свойства водного льда	401
§ 98. Различные способы заготовки естественного льда	402
§ 99. Льдохранилища	407

Глава XVII.

Искусственный водный лед

§ 100. Получение искусственного водного льда	409
§ 101. Льдогенераторы блочного льда	410

	<i>Стр.</i>
§ 102. Льдогенераторы чешуйчатого и снежного льда	416
§ 103. Льдогенератор трубчатого льда	419
§ 104. Заводы искусственного льда	420

Глава XVIII.

Ледники

§ 105. Холодильники с ледяным охлаждением . .	427
§ 106. Ледяные склады	430

Глава XIX.

Льдосоляное охлаждение

§ 107. Физические основы льдосоляного охлаждения	432
§ 108. Холодильники с льдосоляным охлаждением	433
§ 109. Эвтектический лед	437

Глава XX.

Сухой лед

§ 110. Сухой лед и источники его получения . . .	439
§ 111. Схемы получения сухого льда	440
§ 112. Сравнение способов получения и области применения сухого льда	451

РАЗДЕЛ ЧЕТВЕРТЫЙ

ХОЛОДИЛЬНЫЙ ТРАНСПОРТ

Глава XXI.

Железнодорожный холодильный транспорт

§ 113. Классификация изотермических вагонов . .	457
§ 114. Устройство кузова изотермического вагона	458
§ 115. Оборудование универсальных вагонов-ледников	460
§ 116. Оборудование специализированных вагонов .	463
§ 117. Вентилирование вагонов-ледников	465
§ 118. Перевозка грузов с отоплением	465
§ 119. Организация льдоснабжения изотермического транспорта	466
§ 120. Передвижные льдозаводы	470
§ 121. Станции предварительного охлаждения . . .	470
§ 122. Вагоны и поезда с механическим охлаждением	471
§ 123. Калорический расчет изотермического вагона	479

Глава XXII.

Холодильный автотранспорт

§ 124. Назначение и классификация авторефрижераторов	482
§ 125. Способы охлаждения авторефрижераторов . .	483

Стр.

Глава XXIII.

Водный холодильный транспорт

§ 126. Классификация водного рефрижераторного транспорта	486
§ 127. Выбор способа и схемы охлаждения	487

Приложения

Приложение 1. Насыщенные пары аммиака	490	
Приложение 2. Физические свойства рассолов хлористого кальция	494	
Приложение 3. Плотность рассола CaCl_2 в зависимости от концентрации и температуры	495	
Приложение 4. Коэффициенты для перевода единиц различных систем в единицы системы СИ	496	
Приложение 5. Диаграмма. Температура-энтропия для аммиака		} Вклейки
Приложение 6. Диаграмма. Температура-энтропия для дихлордифторметана (фреона-12)		
Приложение 7. Диаграмма i — $lg p$ для фреона-22		
Приложение 8. Диаграмма i — d для влажного воздуха от +35 до -14°C при 760 мм рт. ст		
Литература	501	



ИЗДАТЕЛЬСТВО „ВЫСШАЯ ШКОЛА“ • МОСКВА — 1966

**Наталья Геновна Кондрашова,
Надежда Григорьевна Лашуткина.**

**ХОЛОДИЛЬНО-КОМПРЕССОРНЫЕ
МАШИНЫ И УСТАНОВКИ**

Научный редактор А. А. Гоголин
Редактор издательства
А. Н. Варганова
Художник Г. А. Величкина
Технические редакторы Н. И. Короб-
кова и Н. В. Яшукова
Корректоры М. И. Козлова
и Н. В. Кулиева

Т-10872. Сдано в набор 2/IV-65 г. Подп.
к печати 28/IX-65 г. Формат 60×90^{1/16}
Объем 31,75 п. л. +2 вклейки — 1 печ. л.
Уч.-изд. л. 31,26 Изд. № ОТ—111
Тираж 16000 экз. Цена 1 руб. 4 коп.
Зак. № 288

Сводный тематический план 1965 г. учеб-
ников для вузов и техникумов. Позиция
№ 885

Москва, И-51, Неглинная ул., 29/14,
издательство «Высшая школа»

Ярославский полиграфкомбинат Глав-
полиграфпрома Комитета по печати при
Совете Министров СССР, г. Ярославль,
ул. Свободы, 97.