

Тема 9. ЛЕДЯНОЕ ОХЛАЖДЕНИЕ

9.1. Способы заготовки естественного льда

Наибольшее применение имеет естественный водный лед, намораживание которого производят в зимних условиях без больших затрат. Искусственный лед применяют преимущественно в южных районах, где по климатическим условиям не удастся наморозить естественный.

Физические свойства водного льда при температуре 0°C и давлении 0,101 МПа следующие: температура плавления 0°C ; теплота плавления 333,2 кДж/кг; теплоемкость 2,09 кДж/(кг·К); теплопроводность (в среднем) 2,326 Вт/(м·К); средняя плотность 900 кг/м³.

При превращении воды в лед объем его увеличивается на 9%. Количество теплоты, кДж, потребное для превращения 1 кг льда с температурой $t_{\text{л}}$ в воду с температурой $t_{\text{в}}$, складывается из трех количеств: теплоты, расходуемой на нагревание льда от $t_{\text{л}}$ до температуры плавления, теплоты, идущей на плавление льда, и теплоты, идущей на нагревание полученной воды от температуры плавления до конечной температуры воды $t_{\text{в}}$:

$$q = 2,09 \cdot t_{\text{л}} + 333,2 + 4,186 \cdot t_{\text{в}}. \quad (9.1)$$

Существуют следующие способы промышленной заготовки естественного льда:

- заготовка из водоемов;
- заготовка послойным намораживанием и комбинированным способом;
- заготовка намораживанием сосулек в градирнях.

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

9.1.1. 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, пологие, удобные для выемки льда берега, чистую воду, не быть заболоченным. К выколке приступают в январе-феврале при толщине льда не менее 25 см. Для получения более ровных блоков ледяное поле предварительно размечают на прямоугольники, а затем приступают к вы-

колке. Для резки льда применяют специальные дисковые пилы и цепные передвижные пилы. Выемку льда производят с помощью виловых автопогрузчиков и специальных транспортеров. Применение средств механизации снижает себестоимость льда, заготавливаемого из водоемов, но все же она остается выше, чем льда, полученного намораживанием другими способами. Недостаточно ровная поверхность блоков не позволяет добиться плотной укладки и создает дополнительные потери льда на таяние при хранении из-за большой площади соприкосновения льда с воздухом.

9.1.2. 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 температура не выше –10° С. При таких условиях можно наморозить бунт (монолитный массив) высотой 3...4 м. Площадка, выбранная для намораживания, должна быть расположена поблизости от источников водо- и энергоснабжения и удалена от возможных источников загрязнения льда. Площадку планируют с уклоном от середины к краям для отвода талой воды из-под ледяного массива, для той же цели вокруг площадки от краев роют канаву. На площадку насыпают слой шлака и наверху делают настил из старых шпал или досок (горбылей). При наступлении морозов по краям площадки ставят борты и наливают слоем 4...5 мм воду по всей площадке. Следующий слой наливают после промерзания предыдущего.

Возможность загрязнения льда при хранении, его слоистость и мутный вид, трудоемкость выколки являются существенными недостатками намораживания льда в бунтах. К достоинствам относятся сравнительно незначительные потери льда от таяния благодаря наличию единого массива, незначительные затраты на заготовку и отсутствие расходов, связанных с доставкой льда к потребителю, так как заготовку производят на месте потребления, возможность использования чистой водопроводной воды, что повышает санитарное состояние полученного льда.

9.1.3. Намораживание льда в градирнях

Градирня представляет собой двух- или трехъярусное сооружение этажерочного типа, в котором вместо полок уложены жерди. 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 идет на рециркуляцию.

По мере увеличения размеров сосулек они смерзаются, образуя ледяную массу. За 3...4 дня льдом заполняется 60% полного объема градирни. Затем сосульки скалывают, что является довольно трудоемким процессом. В градирнях конструкции И. А. Клейменова сосульки намораживают 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 велико его таяние.

9.2. Льдохранилища

Они служат для хранения заготовленного льда в теплое время года и должны:

- предохранять лед от действия на него окружающего теплого воздуха и атмосферных осадков;
- обеспечивать отвод талой воды и атмосферных осадков, не допуская намокания изоляции;
- обеспечивать удобный доступ ко льду;
- обеспечивать санитарные условия при хранении льда;
- быть безопасными в пожарном отношении;
- 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. 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, которые обшивают горбылями, досками или плетнем. С торцевой северной стороны в борту оставляют проем для проезда при выборке льда из бунта.

Постоянные льдохранилища делают в виде капитальных сооружений с постоянной изоляцией. Они дороги, поэтому применяются главным обра-

зом в южных районах для хранения сравнительно небольших запасов льда. Льдохранилище должно быть обеспечено оборудованием для механизированной погрузки и выгрузки льда.

9.3. Заготовка искусственного льда

Искусственный лед получают намораживанием воды в аппаратах, называемых льдогенераторами.

Требования к льдогенераторам:

- непрерывность процесса получения льда;
- автоматизация процесса;
- простота устройства и обслуживания, надежность работы;
- малая металлоемкость и малые габариты;
- малая себестоимость льда.

Стоимость искусственного водного льда в 4...5 раз выше стоимости естественного.

В зависимости от формы и способа намораживания лед подразделяют на:

- плитный;
- блочный;
- цилиндрический;
- чешуйчатый;
- снежный.

В зависимости от качества воды, идущей на изготовление льда, на:

- пищевой лед (получаемый из кипяченой или сырой обработанной водопроводной воды);
- промышленный лед (из необработанной воды);
- антисептический;
- рассольный лед (из воды с различными добавками).

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

Блочный лед получают замораживанием воды в льдоформах, опущенных в изолированный бак, заполненный холодным рассолом. В баке установлены испарительные секции, поддерживающие температуру рассола около -10°C , и мешалки для увеличения скорости движения его. Воду замораживают в формах из оцинкованной стали. Формах придают вид усеченной пирамиды для облегчения выемки льда и снабжают их ручками

или соединяют железными рамами с крюками для перемещения и выемки с помощью тельфера или электрокрана. Вес блоков может быть 3; 5; 12,5; 25; 50 кг.

В рассольных льдогенераторах получают лед мутный плотностью 890...900 кг/м³, идущий главным образом на технические нужды, и прозрачный плотностью 915...917 кг/м³, применяемый главным образом в пищевой промышленности. Прозрачный лед при растворении не дает солевого остатка и не смерзается при хранении в мелких кусках.

Кроме льда из обычной воды получают блочный лед, обладающий определенными свойствами, например антисептический лед, применяемый широко 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.

Снежный лед применяют в пищевой, рыбной промышленности и др. Малая толщина замораживаемого слоя позволяет максимально сократить время заморозки воды. Снежный лед получают в льдогенераторах вертикального и горизонтального типа. Льдогенератор с вертикальной осью представляет собой полый цилиндр, окруженный охлаждающей рубашкой. В рубашку подают жидкий хладагент (R12 или аммиак). На внутреннюю поверхность цилиндра насосом подают воду. Стекая, вода замерзает тонким слоем льда, который срезается ножом, укрепленным на вертикальной вращающейся оси. Полученный лед вместе с водой падает в поддон, откуда забирается в производство или для изготовления брикетов.

Цилиндрический лед используют в пищевой промышленности. Лед получают, намораживая воду внутри труб и на трубах. Лед внутри труб намораживают в полностью автоматизированных вертикальных кожухотрубных льдогенераторах с льдорезным устройством. В таких льдогенераторах получают кроме цилиндрического также трубчатый и скорлупный лед. В межтрубном пространстве льдогенератора кипит жидкий хладагент (аммиак) и образующийся пар отсасывается компрессором. В бесшовные трубы из нержавеющей стали насосом подают воду, которая, постепенно намораживаясь на внутренней поверхности труб, образует цилиндры. После окончания намораживания, которое продолжается около 40 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 автоматиче-

ский нож разрезает их на цилиндрики определенной длины, обычно 50...150 мм. Оттаивание продолжается около 10 мин.

9.4. Ледники и ледяные склады

9.4.1. Ледники

Ледники применяют для краткосрочного хранения 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 $+5^{\circ}\text{C}$, а при применении льдо-соляных смесей до -12°C . Ледники делят в зависимости от их конструкции, назначения и запасов льда на ледяные склады с долговременным запасом льда, ледники с сезонным запасом льда, ледники с кратковременным запасом льда.

Ледник с сезонным запасом льда представляет собой строительное деревянное сооружение, изолированное торфоплитами или опилками и обеспечивающее поддержание температуры воздуха в охлажденном объеме $4...8^{\circ}\text{C}$ и влажности 85...95%. Ледники бывают наземные и подземные с верхним, центральным, боковым и нижним расположением льда.

Наиболее распространены наземные и подземные ледники с центральным расположением льда емкостью 5,8 и 12 т. В таких ледниках льдохранилище расположенное посередине, отделено от камер хранения перегородками, имеющими вверху и внизу продухи – окна, перекрываемые шиберами. Через нижние продухи холодный воздух поступает в камеру хранения, через верхние теплый воздух возвращается для охлаждения в льдохранилище. Для отвода талой воды льдохранилище имеет канализационную систему с гидравлическим затвором, чтобы теплый воздух не поступал в помещение. Емкость льдохранилища должна быть в 2,5...5 раз больше емкости камер хранения и зависит от размера ледника.

Льдохранилище набивают льдом в конце зимы, что обеспечивает минимальное таяние льда и позволяет сморозить отдельные блоки или куски льда в сплошной монолит. Загрузочные люки и двери плотно закрывают и открывают только при следующей загрузке. Ледники используют только в утреннее время, не допуская длительного открытия дверей или неплотного закрытия их. 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.

9.4.2. Ледяные склады

Это постоянные хранилища продуктов, выполненные из льда и снега. Эти склады целесообразно сооружать в холодной климатической зоне. Широко применяются ледяные склады конструкции Крылова для хранения фруктов и овощей, молочных продуктов, рыбы. Основанием склада служит лед, намороженный в котловане. Внутри ледяного массива имеются продольный коридор со сводчатым потолком и 8...12 сводчатых камер. Для приема и выдачи грузов устроен деревянный двойной тамбур. Намораживают массив зимой, поливая водой опалубку. Снаружи массив изолируют торфом, опилками, матами и т. д. Нижний слой изоляции поливают и промораживают, чтобы уменьшить таяние основного массива в летнее время. Изнутри склад охлаждается путем посыпания ледяного поля солью или с помощью льдосоляной смеси, загруженной в бочки, которые ставят в ниши ледяных стен склада. Температура воздуха внутри склада около $-0,5^{\circ}\text{C}$.

Так как теплопритоки покрываются таянием ледяного массива, то каждую зиму необходима его подморозка. Ледяные склады не требуют строительных материалов, и сооружение их обходится сравнительно дешево, но в целом применение их целесообразно при недостатке средств или строительных материалов для более капитальных холодильных сооружений. Кроме ледяных складов конструкции Крылова для краткосрочного хранения продуктов используют более простые хранилища из льда и снега в виде ледяных и снежных бунтов и площадок, которые применяют преимущественно для хранения овощей.

9.5. Производство и применение диоксида углерода (сухого льда)

Сухой лед представляет собой твердую углекислоту (CO_2), которая обладает свойством сублимации, т. е. способностью переходить из твердого состояния в газообразное, минуя жидкое. При давлении 0,101 МПа температура сублимации твердой углекислоты $-78,5^{\circ}\text{C}$. Переход в газообразное состояние связан с подводом к углекислоте теплоты, которую она отнимает из окружающего воздуха.

Свойство углекислоты сублимировать обусловлено положением тройной точки ($t = -56^{\circ}\text{C}$, $p = 0,518$ МПа). Углекислота при давлении ниже

0,518 МПа может находиться только в двух агрегатных состояниях – твердом или газообразном.

Теплота сублимации CO_2 при атмосферном давлении $r = 574$ кДж/кг. Холодопроизводительность сухого льда определяют с учетом теплоты сублимации и нагревания полученных холодных паров за счет отвода теплоты от охлаждаемой среды или тел до 0°C . Холодопроизводительность сухого льда в этом случае составляет 636,3 кДж/кг, что в 1,9 раза больше холодопроизводительности водного льда при 0°C , равной теплоте плавления 333,2 кДж/кг.

Отсутствие при сублимации сухого льда влаги и нейтральность к металлам является преимуществом по сравнению с водным льдом. Существенным недостатком сухого льда является сравнительно высокая его стоимость.

Технологический процесс получения сухого льда состоит из трех стадий:

- 1) получение чистого углекислого газа (способы получения зависят от содержания CO_2 в исходной газовой смеси и от качественного состава примесей);
- 2) получение жидкой углекислоты (сжижение CO_2 осуществляется сжатием газа в компрессорах и конденсацией его в конденсаторах);
- 3) получение сухого льда (понижением температуры CO_2 ниже температуры тройной точки путём самоохлаждения в результате испарения части жидкости).

Основными источниками получения углекислого газа, идущего на производство жидкой углекислоты и сухого льда, являются углекислота спиртового брожения, получаемая на спиртовых, пивоваренных и лесогидролизных заводах; углекислота химических производств; углекислота дымовых газов.

Сухой лед позволяет получать низкие температуры, удовлетворяя высоким санитарным требованиям, поэтому он применяется во многих отраслях промышленности, для исследовательских целей и т. д.

Диоксид углерода применяют в системах охлаждения как охлаждающее вещество (в твердом и жидком состояниях), а также в качестве хладагента (R744) и хладоносителя.

Сухой лёд в виде блоков или снегообразной массы применяют:

- для охлаждения и замораживания овощей, ягод, птицы, кулинарных изделий;
- для охлаждения транспортных средств;

- для охлаждения изделий при типовых испытаниях;
- для получения газообразного CO_2 высокой чистоты, используемого при проведении экспериментальных работ и при электрической сварке деталей турбин и аппаратов.

Жидкий низкотемпературный диоксид углерода применяют в ситуациях, когда требуется с высокой точностью регулировать температуру среды в охлаждаемом объекте.

Сухой лёд транспортируют в изотермических контейнерах и хранят в теплоизолированных льдохранилищах и контейнерах. При этом вследствие сублимации теряется 1-3% массы льда за сутки.

Жидкий низкотемпературный CO_2 транспортируют в теплоизолированных цистернах и хранят в сосудах при температурах $-30\ldots(-18)^\circ\text{C}$ и давлениях 1,4...2,1 МПа, оборудованных предохранительными клапанами, указателем уровня и манометром.