

ХОЛОДИЛЬНАЯ ТЕХНИКА

Учебник для вузов

ИЗДАТЕЛЬСТВО
ПРОФЕССИЯ

Санкт-Петербург

2003

УДК 621.56(075.8)
ББК 31.392 я73
Р 96

Румянцев Ю. Д., Калюнов В. С.

Р96 Холодильная техника: Учеб. для вузов. – СПб.: Изд-во «Профессия», 2003. – 360 с., ил

ISBN 5-93913-008-9

В новом учебнике учтены существенные изменения, произошедшие в холодильной технике и технологии за последние годы. К несомненным достоинствам книги относятся рекомендации по практическому использованию холодильного оборудования для различных подотраслей пищевой промышленности с учетом принятых технологий.

Учебник предназначен для студентов вузов по специальностям «Машины и аппараты пищевых производств», «Технология хлеба, кондитерских и макаронных изделий», «Технология бродильных производств и виноделия», «Технология молока и молочных продуктов» и др. Он будет полезен также инженерам и технологам предприятий, связанных с переработкой, производством и хранением пищевых продуктов.

ISBN 5-93913-008-9

УДК 621.56(075.8)
ББК 31.392 я73

© Издательство «Профессия», 2003

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	5
Глава 1. Основы холодильной обработки и хранения продуктов	8
1.1. Влияние низких температур на свойства пищевых продуктов	8
1.1. Виды холодильной обработки и хранение пищевых продуктов	11
1.3. Непрерывная холодильная цепь	13
Глава 2. Холодильники	16
2.1. Типы холодильников	16
2.2. Параметры охлаждаемых помещений	18
2.2.1. Равновесная температура воздуха в охлаждаемом помещении	19
2.2.2. Равновесная относительная влажность воздуха	21
2.3. Определение вместимости холодильников	26
2.4. Объемно-планировочные решения холодильников	32
Глава 3. Конструкции холодильников	47
3.1. Конструкции здания и несущие элементы	47
3.2. Изоляционные конструкции холодильников	49
3.3. Назначение изоляции охлаждаемых помещений	50
3.4. Свойства теплоизоляционных материалов	51
3.5. Свойства паро- и гидроизоляционных материалов	53
3.6. Увлажнение теплоизоляции в охлаждающих конструкциях	57
3.7. Основные требования и виды теплоизоляционных конструкций	62
Глава 4. Тепловой расчет охлаждаемых объектов	70
4.1. Теплоприток от окружающей среды	72
4.2. Теплоприток от продуктов при их холодильной обработке и хранении	77
4.3. Теплоприток при вентиляции помещений наружным воздухом	79
4.4. Эксплуатационные теплопритоки	80
4.5. Теплопритоки в холодильно-технологических аппаратах	83
4.6. Итоговые данные расчета теплопритоков	84
Глава 5. Холодильное технологическое оборудование	86
5.1. Туннели и морозильные камеры воздушного охлаждения	87
5.2. Контактные морозильные аппараты	91
5.3. Флюидизационные и иммерсионные морозильные аппараты	96
5.4. Криогенные морозильные аппараты	99
5.5. Льдогенераторы	102
5.6. Сублимационные установки	105
Глава 6. Торговое холодильное оборудование	110
6.1. Холодильные камеры и шкафы	112
6.2. Холодильные прилавки и витрины	115
6.3. Льдогенераторы	119
Глава 7. Бытовые холодильники и морозильники	121
7.1. Классификация, основные показатели и элементы	122
7.2. Компрессорные холодильники и морозильники	125
7.3. Абсорбционные холодильники и морозильники	130
Глава 8. Холодильный транспорт	137
8.1. Железнодорожный холодильный транспорт	138
8.2. Автомобильный холодильный транспорт	142

8.3. Воздушный холодильный транспорт	147
8.4. Водный холодильный транспорт	148
8.5. Холодильные контейнеры	153
Глава 9. Теоретические основы холодильных машин	158
9.1. Физические принципы получения низких температур.	158
9.2. Термодинамические процессы и обратный цикл.	162
9.3. Хладагенты.	169
Глава 10. Холодильные машины.	176
10.1. Паровые холодильные машины.	176
10.2. Газовые холодильные машины.	187
10.3. Теплоиспользующие холодильные машины	189
10.4. Реальные циклы паровых холодильных машин.	193
Глава 11. Компрессоры холодильных машин.	198
Глава 12. Аппараты и насосы	210
12.1. Испарители.	210
12.2. Конденсатор и градирни.	215
13.3. Вспомогательные аппараты	217
Глава 13. Схемы холодильных установок	224
13.1. Классификация схем и способы охлаждения.	224
13.2. Технологические трубопроводы	227
13.3. Схемы холодильных установок косвенного охлаждения.	242
Глава 14. Подбор и размещение холодильного оборудования	249
14.1. Подбор компрессорных агрегатов	249
14.2. Подбор теплообменных аппаратов	251
14.3. Подбор батарей и воздухоохладителей	253
14.4. Подбор аккумуляторов холода	256
14.5. Подбор градирен.	257
14.6. Подбор емкостных аппаратов	258
14.7. Проектирование машинных отделений	265
Глава 15. Автоматизация холодильных установок	270
15.1. Автоматический контроль	270
15.2. Автоматическая сигнализация	271
15.3. Автоматическая защита	272
15.4. Автоматическое регулирование	272
15.5. Автоматическое управление	275
Глава 16. Основы монтажа и эксплуатации холодильных установок.	278
16.1. Основы монтажа.	278
16.2. Основы эксплуатации	287
Глава 17. Применение низких температур при переработке и хранении пищевых продуктов	315
17.1. Мясная промышленность.	315
17.2. Молочная промышленность	323
17.3. Птицеперерабатывающая промышленность	332
17.4. Рыбная промышленность.	333
17.5. Хлебопекарная и кондитерская промышленность	338
17.6. Плодоовощная промышленность	242
17.7. Производство готовых замороженных блюд	350
17.8. Производство пива и безалкогольных напитков	352
17.9. Производство вина	356
Глава 18. Механизация погрузо-разгрузочных работ	357

ВВЕДЕНИЕ

Население земли в третьем тысячелетии продолжает увеличиваться, но неравномерно по странам и с замедлением темпа. В развитых странах прирост значительно меньше, чем в развивающихся странах. По прогнозу ООН (1998 г.) прирост населения составит приблизительно 73 млн человек в год в период 2020–2025 гг. Различный темп роста населения в менее и более развитых странах изменяет демографическую ситуацию в мире и создает проблему обеспечения населения продуктами.

Производство пищевых продуктов в мире возрастает. Поэтому в последние годы создается относительно благоприятная ситуация, когда объем производства пищевых продуктов в мире в среднем (без учета потерь при потреблении) соответствует числу потребителей. Тем не менее в развивающихся странах мира продуктов не хватает. Например, по данным ООН (1996 г.) в мире голодают 820 млн человек.

В настоящее время в развитых странах население потребляет пищевые продукты, из которых приблизительно 40% составляют скоропортящиеся продукты, для сохранения качества которых требуется особая обработка (консервация).

Существуют различные промышленные способы консервации пищевых продуктов, например, пастеризация, консервирование, сублимационная сушка, низкотемпературный (холодильный) и др.

Из всех известных способов сохранения качества скоропортящихся пищевых продуктов в промышленности наиболее широко используется холодильный (низкотемпературный) способ, как наиболее универсальный и эффективный с точки зрения сохранности качества и расхода энергии. Он по сравнению с другими способами консервации пищевых продуктов вызывает минимальное изменение их питательной ценности, массы и органолептических показателей (вкуса, аромата, цвета).

Сравнение способов консервации по расходу энергии на процесс показывает, что холодильный характеризуется минимальным значением. Например, расход энергии на замораживание меньше: в 1,3 раза по сравнению с пастеризацией, в 2,35 раза по сравнению со стерилизацией, в 6,6 раза по сравнению с сушкой.

Конечно, проблема голодающих связана не только с потерей произведенных продуктов, но и с социальной проблемой. Но в развивающихся странах холодильные технологии имеют жизненно важное значение. Здесь основными считают такие направления развития, как уменьшение потери массы произведенных (выращенных) пищевых продуктов; повышение уровней продовольственной безопасности и гигиены; развитие международной торговли. Продовольственная безопасность это

способность государства обеспечить физическую и экономическую доступность пищевых продуктов для всех граждан, гарантированную собственным производством продуктов (не менее 85 % внутреннего потребления) и наличием резервов, а также социальной политикой, обеспечивающей достаточный прожиточный минимум.

Для развитых стран важными считают следующие направления: снижение энергетических затрат на холодильную обработку и хранение; сохранение качества от производства до потребления на основе точности поддержания заданного режима и непрерывного мониторинга; повышение уровня санитарно-гигиенических требований.

Таким образом, решение основных проблем снабжения населения земного шара продовольствием связано с широким и рациональным применением холодильных технологий.

Технология низкотемпературной обработки скоропортящихся пищевых продуктов называется *холодильной*. Для ее реализации необходимы особые технические средства, которые относятся к области холодильной техники.

Холодильная техника — это научная дисциплина и отрасль техники, охватывающие методы получения и использования низких температур (холода) для производства и хранения скоропортящихся пищевых продуктов. В холодильной технике *низкая температура* — это температура, значение которой ниже температуры окружающей среды.

Таким образом, холодильная техника играет важную роль в обеспечении населения продовольствием.

Холодильные технологии и холодильная техника совершенствуются, расширяются области их применения. Кроме того, за последние годы произошли значительные изменения, связанные с возросшим импортом широкого ассортимента пищевых продуктов и иностранной холодильной техники.

Эти изменения учтены в настоящем учебнике, предназначенном для студентов вузов, обучающихся по специальностям 170600 «Машины и аппараты пищевых производств»; 270300 «Технология хлеба, кондитерских и макаронных изделий»; 270500 «Технология бродильных производств и виноделия»; 270800 «Технология консервов и пищевых концентратов»; 270900 «Технология мяса и мясных продуктов»; 271100 «Технология молока и молочных продуктов»; 271300 «Пищевая инженерия малых предприятий». Кроме того, он может представлять интерес и для инженерно-технических работников отраслей, связанных с переработкой, производством и хранением скоропортящихся продуктов.

Введение, разделы 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 13 и 16 написаны Ю. Д. Румянцевым; разделы 4, 11, 12, 14, 15, 17 и 18 — В. С. Калюновым.

Авторы выражают благодарность рецензентам канд. техн. наук, специалисту по холодильному оборудованию ООО «Холдинговая компания “Парнас”» В. И. Мачулину и заведующему кафедрой МГУПБ, д-ру техн. наук, проф. Б. С. Бабакину за ценные замечания и полезные советы при подготовке рукописи к изданию.

Авторы благодарят сотрудника кафедры холодильных установок М. В. Шаблаева за помощь в подготовке рукописи.

ОСНОВЫ ХОЛОДИЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ И ХРАНЕНИЯ ПРОДУКТОВ

1.1 Влияние низких температур на свойства пищевых продуктов

Пищевые продукты животного и растительного происхождения представляют собой сложную систему, состоящую из воды и сухих веществ, в общем случае включающих жиры, белки, углеводы, микро- и макроэлементы, ароматизирующие и красящие, витамины и ферменты.

Пищевые продукты характеризуются составом, усвояемостью, влиянием на жизнеспособность и рост организма. Белки являются основным материалом для строительства клетки и ткани организма и могут служить источником энергии; углеводы и жиры — источником энергии; витамины и ферменты — катализаторами реакций, в результате которых некоторые соединения продукта разрушаются и образуются новые с другими свойствами. Эти процессы протекают в присутствии воды.

Вода является важной составляющей пищевых продуктов. Она различным образом (по форме и прочности связи) связана с сухими компонентами. Свободная вода, которая имеет относительно слабую связь, является растворителем кислот, солей, сахаров и других веществ, образующих истинные растворы. Она влияет на осмотическое давление, поверхностное натяжение и другие физико-химические показатели. Поэтому целенаправленное изменение содержания воды в продукте в комплексе с другими воздействиями позволяет влиять на химические, биохимические и биологические процессы, а значит и свойства продукта.

Связанная влага имеет более прочную связь. Ее удалить вымораживанием и высушиванием значительно труднее, чем свободную. В частности, она соединена с коллоидами — веществами, образующими гетерогенную систему с частицами размером $1 \cdot 10^{-6}$ – $1 \cdot 10^{-4}$ м, которые в отличие от частиц истинного раствора не диффундируют и не проходят через мембраны клеток. Ее содержание в продуктах колеблется в широких пределах: в мясе 13–16%, в овощах и плодах — 8–11%. При замораживании пищевых продуктов, в частности мяса, коллоиды и связанная ими вода сохраняют консистенцию, а при размораживании способствуют уменьшению потери сока продукта и питательных веществ.

При понижении температуры продукта уменьшается жизнедеятельность микрофлоры, ослабляется активность ферментов и тем больше,

чем ближе температура к криоскопической. Однако некоторые группы микроорганизмов (психрофилы) способны развиваться и при отрицательной температуре.

Эффективность подавления жизнедеятельности микроорганизмов зависит не только от температуры, но и от скорости ее снижения, первоначального числа микроорганизмов на поверхности, значения рН продукта, влагосодержания поверхностных слоев. Предельные значения рН среды для микроорганизмов колеблются от 4 до 9. Снижение влагосодержания поверхностных слоев способствует подавлению жизнедеятельности микроорганизмов.

Температура продукта и скорость ее изменения влияют на биохимические процессы. При понижении температуры продуктов растительного происхождения уменьшается скорость ферментативных процессов, приводящих к их созреванию, а затем к порче.

Качество продуктов животного происхождения зависит от температуры и скорости ее снижения. При быстром понижении температуры говядины, баранины и птицы увеличивается жесткость мяса, сохраняющаяся при его длительном хранении. При хранении свинины этого явления нет.

На качество продуктов влияет окружающая среда, контакт с которой сопровождается тепло-, массо- и газообменом, а для некоторых продуктов — окислением лабильных компонентов кислородом воздуха. Для большинства продуктов испарение влаги и окисление их компонентов — нежелательно.

При понижении температуры продукта ниже криоскопической происходит льдообразование. Здесь важно, чтобы скорость замораживания продукта была достаточно высокой. При высокой скорости замораживания мелкие кристаллы льда вначале образуются в межклеточном пространстве. По мере понижения температуры образовавшиеся кристаллы растут за счет окружающей воды как из межклеточного пространства, так и из самой клетки, из которой она диффундирует через полупроницаемую мембрану наружу. В результате повышается концентрация сока, изменяется значение рН, денатурируются белки и протоплазмы, и в итоге — прекращается развитие микроорганизмов. Такое развитие процессов наиболее целесообразно, так как после добавления воды часть клеток восстанавливается до первоначального состояния.

При низкой скорости замораживания кристаллы льда образуются и внутри клеток, что приводит к механическому разрушению протоплазмы клетки. В результате этого клетки не могут возвращаться в первоначальное состояние.

Понижение температуры и льдообразование уменьшает развитие микроорганизмов. Полностью прекращается рост микроорганизмов при температурах $-10 \dots -12^\circ\text{C}$.

В процессе льдообразования происходят физико-химические и биохимические изменения, связанные с повышением концентрации растворов, высвобождением ферментов из разрушенных клеток.

Нежелательные изменения происходят и в замороженном молоке. Так, при его замораживании нарушается соотношение воды и твердых компонентов: лактозы, белков, солей. Повышенная доля солей, как и в случае замораживания плодов, вызывает денатурацию белка. Частицы казеина приобретают способность к агрегации. Нарушается стабильность жировой эмульсии.

Следовательно, низкотемпературная обработка в той или иной степени ухудшает природные свойства пищевых продуктов, причем тем больше, чем ниже температура при прочих равных условиях.

Для повышения температуры обработки продукта или увеличения продолжительности его хранения низкотемпературную обработку сочетают с другими методами воздействия: изоляцией продукта от окружающей среды с помощью упаковки, а также изменением окружающей среды.

Упаковка (обычно из полимерных материалов) изолирует продукт от окружающей среды, предотвращая заражение микроорганизмами, уменьшая интенсивность окисления жиров кислородом и испарения влаги с поверхности. Упаковка продуктов в вакууме дает больший эффект, чем при атмосферном давлении.

Газообразный диоксид углерода при 10%-ном содержании в окружающей среде подавляет микрофлору продукта.

Газообразный азот при 99%-ном содержании в окружающей среде подавляет развитие микроорганизмов.

Озон применяют для дезинфекции и дезодорации холодильных камер.

Ультрафиолетовое излучение используют для обеззараживания воздуха и стерилизации предметов.

Ионизирующее излучение при небольшой дозе (до 10 Дж/кг для пищевых продуктов) не вызывает радиоактивность, но обладает бактерицидным действием. Его применяют для обработки охлажденных (клубники, рыбы) и замороженных (креветок) пищевых продуктов.

1.2 Виды холодильной обработки и хранение пищевых продуктов

Многообразие задач, решаемых с использованием холодильных технологий, можно разделить на два направления: сохранение свойств пищевых продуктов и получение пищевых продуктов с новыми свойствами.

Примерами продуктов с новыми свойствами, полученными в результате холодильной обработки, являются: мороженое; глазурированные шоколадом конфеты; сублимационно высушенные продукты; криоконцентрированные продукты и др.

Холодильные технологические процессы подразделяют на следующие виды: охлаждение; переохлаждение (подмораживание); замораживание; отепление; размораживание. Их используют и при сублимационной сушке; криоконцентрировании и других способах консервации.

Охлаждение — это процесс понижения температуры продукта от начального до конечного значения, которое выше температуры замерзания раствора в продукте (криоскопической температуры), которая для большинства продуктов близка к -1°C . Понижение температуры продуктов до начала льдообразования вызывает в них относительно небольшие изменения природных свойств, поэтому охлаждение используют наиболее широко. Например, в развитых странах объем охлаждаемых продуктов приблизительно в 10 раз больше, чем замораживаемых. Охлаждение стремятся проводить быстрее, что обычно способствует лучшему сохранению качества и меньшей потере массы продукта при прочих равных условиях.

Переохлаждение (подмораживание) — это процесс понижения температуры продукта от начального до конечного значения, которое ниже -4°C на глубине 1 см от поверхности и $0-3^{\circ}\text{C}$ в толще, а толщина подмороженного слоя не должна превышать 25 мм. Этот технологический процесс используют для обработки продуктов, льдообразование в поверхностном слое которых незначительно снижает качество охлажденного продукта, например, мяса, атлантического лосося, готовых мясных блюд и др. Он позволяет увеличить время хранения продукта по сравнению с охлажденным (например, мяса в 2 раза), за счет аккумуляции холода сохранить качество при нарушении температуры воздуха при хранении и транспортировании, увеличить плотность укладки продукта при хранении и транспортировании (например, подмороженные мясные полутуши можно укладывать в штабель в отличие от охлажденных).

Замораживание — это процесс понижения температуры продукта от начального до конечного значения, которое ниже криоскопической

температуры (-8°C и ниже). Этот процесс применяют в ситуации, когда требуется длительное хранение продуктов, так как льдообразование необратимо ухудшает свойства продуктов. Степень повреждения зависит от свойств продукта и режима замораживания. Например, мясо и мясопродукты, рыба и рыбопродукты, полуфабрикаты и готовые блюда, масло, творог и др. теряют природные свойства в незначительной степени в отличие от большинства продуктов растительного происхождения. Замораживание как и охлаждение стремятся проводить быстрее по тем же соображениям.

Хранение охлажденного, переохлажденного и замороженного продуктов — это процесс их содержания при постоянной температуре. Здесь важно не допускать больших колебаний температуры воздуха, которые вызывают конденсацию влаги на поверхности, циклы размораживания и замораживания, приводящие к увеличению размеров кристаллов льда, разрушающих клетки. Иногда применяют дополнительные меры, способствующие увеличению сроков хранения продуктов, например, регулируют влажность, скорость движения воздуха, газовый состав окружающей продукт среды, модифицируют среду, упаковывают продукт в пленку из полимерных материалов, обрабатывают среду озоном или ультрафиолетовым излучением.

Отепление — это процесс повышения температуры охлажденного или переохлажденного продукта до значения, требуемого технологическим нормативом. При этой температуре не должна конденсироваться влага из окружающей среды; она должна быть приемлемой для работы с продуктом людей и с позиции скорости роста микрофлоры.

Размораживание — это процесс повышения температуры замороженного продукта до положительной температуры, требуемой по технологическому нормативу. При этом стремятся восстановить равномерность распределения влаги и растворенных в ней веществ в продукте и сократить потерю сока продуктом.

Сублимационная сушка — это способ консервации продукта путем сушки в замороженном состоянии. Он базируется на двух процессах: замораживании продукта и его сушке в замороженном состоянии путем сублимации льда. Затраты энергии при сублимационной сушке выше, чем при обычной высокотемпературной, так как кроме энергии для сублимации влаги требуется энергия и на десублимацию влаги, а иногда еще на откачку неконденсирующихся газов. Преимущества этого способа в сохранении природных свойств (структуры, вкуса, цвета, аромата, пищевой ценности); небольшой массы; длительного срока хранения (несколько лет) при комнатной температуре.

Криоконцентрирование — это способ консервации продукта (напитков, различных фруктовых и овощных соков, молока, чая, кофе и пива) путем частичного обезвоживания его вымораживанием. Он состоит из двух основных процессов: льдообразования и сепарирования льда. Полученные таким способом концентраты почти полностью сохраняют качество исходного продукта. Они могут храниться в течение длительного времени вследствие снижения водной активности, кроме того, для их хранения и транспортирования требуется меньше площади.

1.3 Непрерывная холодильная цепь

Пищевые продукты на пути их движения от производства до потребления проходят ряд этапов технологической обработки (заготовка сырья, производство продукта, его хранение, транспортирование, распределение, потребление), совокупность которых называют *технологической цепочкой*.

Анализ причин, вызывающих нежелательное изменение качества скоропортящихся пищевых продуктов, свидетельствует о том, что для сохранения качества действие низких температур должно быть непрерывно: в общем случае от момента производства (заготовки) до потребления.

Для реализации холодильных технологических процессов необходимы технические средства, а иногда и теплоизолированные помещения, совокупность которых называют *охлаждаемыми объектами*.

Совокупность взаимосвязанных охлаждаемых объектов, необходимых для сохранения качества пищевого продукта от момента производства до потребления в заданных условиях их функционирования, называется *непрерывной холодильной цепью* (по аналогии с непрерывной технологической) или системой сохранения скоропортящихся пищевых продуктов.

Непрерывная холодильная цепь состоит из большого числа звеньев, которые можно разделить на три группы: стационарные охлаждаемые объекты, транспортные охлаждаемые средства и вспомогательные объекты.

К стационарным охлаждаемым объектам относят охлаждаемые помещения предприятий:

- заготовительных (заготовительный холодильник), в которых проводится первичная холодильная обработка скоропортящегося сырья;
- производственных (производственный холодильник), где продукты подвергаются холодильной обработке;

- портовых, на которых продукты перегружают с одного вида транспорта на другой;
- оптовой торговли (распределительный холодильник);
- охлаждаемое торговое оборудование, называемое *торговым холодильным*;
- охлаждаемое бытовое оборудование потребителей, называемое *бытовым холодильным*.

Транспортные охлаждаемые средства, называемые *холодильными* (железнодорожные, автомобильные, морские, контейнерные), обеспечивают доставку продуктов на стационарные охлаждаемые объекты.

К вспомогательным относят те объекты, которые обеспечивают функционирование первых двух групп.

Такое понятие отражает комплексный подход к проблеме обеспечения продовольственной безопасности страны, так как позволяет: найти рациональную взаимосвязь между производством, хранением и транспортированием пищевых продуктов; определить рациональные условия хранения и транспортирования продуктов; рационально управлять производством.

Необходимость непрерывности холодильных технологических процессов и взаимосвязи охлаждаемых объектов понятна. Так, нарушение холодильного технологического процесса и (или) не согласованная работа охлаждаемых объектов (например, хранение замороженного продукта при положительной температуре только в одном звене) может привести к снижению качества или порче продукта. Структура схемы непрерывной холодильной цепи зависит от вида сырья и продукта, сезонности заготовки и производства, целевого назначения продукта (промышленная переработка, потребление внутри региона или страны, международная торговля), уровня жизни населения и др. Основные схемы непрерывной холодильной цепи некоторых продуктов имеют следующий вид:

- мясо охлажденное и замороженное, мясопродукты, масло, сыр и консервы

$$ПХ \rightarrow ЖХТ \rightarrow РХ \rightarrow АХТ \rightarrow ТХО \rightarrow БХО;$$
- те же продукты, но поступившие морским транспортом

$$МХТ \rightarrow ПорХ \rightarrow ЖХТ \rightarrow РХ \rightarrow АХТ \rightarrow ТХО \rightarrow БХО;$$
- рыба и рыбопродукты охлажденные и замороженные

$$ДМХТ \rightarrow МХТ \rightarrow ПорХ \rightarrow ЖХТ \rightarrow РХ \rightarrow АХТ \rightarrow ТХО \rightarrow БХО;$$
- овощи и фрукты

$$ЗХ \rightarrow ЖХТ \rightarrow РХ \rightarrow АХТ \rightarrow ТХО \rightarrow БХО;$$

- те же продукты, но охлаждаемые в процессе транспортирования

АХТ → РХ → АХТ → ТХО → БХО;

- замороженные готовые блюда

ПХ → АХТ → РХ → АХТ → ТорХ → ТХО → БХО,

где ПХ — производственный холодильник; ЖХТ — железнодорожный холодильный транспорт; АХТ — автомобильный холодильный транспорт; ПорХ — портовый холодильник; РХ — распределительный холодильник; ТХО — торговое холодильное оборудование; БХО — бытовое холодильное оборудование; ДМХТ — добывающий морской холодильный транспорт; ЗХ — заготовительный холодильник; ТорХ — торговый холодильник.

Следовательно, существуют различные схемы непрерывной холодильной цепи. Для успешного функционирования непрерывной холодильной цепи необходимо обеспечить: рациональную производительность заготовительных и производственных холодильников; целесообразный режим работы охлаждаемых объектов; соблюдение предельно допустимой продолжительности нахождения продуктов в холодильной цепи от момента производства до момента реализации; соответствие пропускных и перерабатывающих характеристик отдельных холодильников цепи.

Таким образом, непрерывная холодильная цепь является сложной системой, работа которой требует установления рациональных условий функционирования охлаждаемых объектов каждого звена в отношении технологического, технического и экономического аспектов.

ХОЛОДИЛЬНИКИ

2.1 Типы холодильников

Холодильник — это здание, охлаждаемые помещения которого в общем случае предназначены для холодильной обработки и хранения скоропортящихся пищевых продуктов. В связи с этим он имеет следующие особенности.

В помещениях холодильника поддерживается температура воздуха более низкая, чем температура окружающей среды, а в некоторых случаях — еще и скорость движения воздуха (кратность воздухообмена), влажность воздуха, определенный состав газовой среды.

Теплота и влага наружного воздуха стремятся проникнуть в помещения холодильника, что требует создания специальных ограждающих конструкций для уменьшения проникновения теплоты и влаги внутрь помещений и разработки методов устранения вредных последствий этого явления.

Большой объем перемещаемых грузов (продуктов) и необходимость быстрой их загрузки и разгрузки требуют применения загрузочно-разгрузочных и транспортных средств.

К помещениям холодильника предъявляются высокие санитарные и гигиенические требования.

Холодильники подразделяют по назначению, универсальности в отношении вида хранящегося продукта, вместимости (производительности), типу здания. Каждый тип холодильника имеет свои особенности, которые учитывают при проектировании и эксплуатации. В зависимости от назначения различают следующие холодильники: заготовительные, производственные, распределительные, торговые, портовые и бытовые.

Заготовительные холодильники предназначены для предварительной холодильной обработки рыбы во время путины, ягод, плодов, фруктов и овощей в период сбора урожая в центрах их выращивания и кратковременного хранения обработанных продуктов. Они, как правило, являются самостоятельным предприятием и имеют относительно большую производительность при небольшой вместимости помещений для хранения продукции.

Производственные холодильники предназначены для холодильной обработки (охлаждения, замораживания) продуктов и кратковременного их хранения. Они могут быть цехом какого-либо пищево-

го предприятия (мясокомбината, молочного комбината и т. п.). Холодильники этого типа характеризуются большой производительностью устройств для холодильной обработки при относительно небольшой вместимости помещений для хранения продуктов.

Распределительные холодильники предназначены для хранения продуктов, производство которых носит сезонный характер в течение всего года для равномерного обеспечения населения городов продуктами питания. Они характеризуются относительно большой вместимостью помещений для хранения продуктов и большим грузооборотом. В средних и крупных промышленных центрах распределительные холодильники часто имеют производственные цехи: производства мороженого, водного и сухого льда, фасовки масла и др. Такие предприятия называют *хладоккомбинатами*.

Торговые холодильники обеспечивают кратковременное хранение запасов пищевых продуктов для торговых предприятий и предприятий массового питания. Они характеризуются относительно небольшой вместимостью и большим грузооборотом.

Портовые холодильники служат для краткосрочного хранения грузов при их перегрузке с одного вида транспорта на другой, например, с водного на железнодорожный и автомобильный транспорт и наоборот. Они находятся на территории речных, морских портов и аэропортов. Для них характерны большая вместимость камер хранения, а также объемы грузовых операций, операций по осмотру, сортировке и карантинной выдержке продуктов, для чего предусматриваются специальные помещения.

Приведенная классификация холодильников в определенной степени условна, так как иногда функции холодильников могут меняться или сочетаться. Однако каждому холодильнику свойственна основная функция, которая позволяет отнести его к определенному типу.

Различные холодильники могут сравниваться друг с другом по вместимости камер хранения, а также по производительности устройств для холодильной обработки. За рубежом вместимость холодильников обычно характеризуют в единицах объема камер хранения или числом поддонов с грузом (паллет). В нашей стране вместимость холодильников принято измерять в единицах массы.

Так как в одном и том же объеме помещения можно разместить неодинаковую массу различных продуктов (ввиду различия их объемной массы), то для сравнения холодильников между собой вводится понятие об *условном грузе* и о вместимости по условному грузу, под которой понимают вместимость холодильника при загрузке его мороженым мясом с плотностью укладки $0,35 \text{ т на } 1 \text{ м}^3$. Считается, что масса поддона с

грузом в среднем составляет 1000 кг. По значению условной вместимости холодильники подразделяются на малые, имеющие вместимость до 1000 т, средние — от 1000 до 5000 т и крупные — свыше 5000 т.

Другой характеристикой холодильника является производительность оборудования для осуществления основных технологических процессов холодильной обработки: охлаждения и замораживания.

Производительность (производственная мощность, пропускная способность) определяется массой продуктов, обрабатываемых в единицу времени (т/ч, т/смену, т/сутки). Можно считать для пищевых предприятий производительность помещений или оборудования для замораживания до 20 т/смену — малой, от 20 до 100 т/смену — средней и свыше 100 т/смену — крупной. Вместимость производственных помещений обычно не включается в общую вместимость холодильника.

Холодильники могут быть специализированными (фруктовые, овощные, рыбные) и универсальными (распределительные, торговые).

По виду здания холодильники подразделяют на одноэтажные, многоэтажные и высотные (имеющие высоту 20 м и более).

2.2 Параметры охлаждаемых помещений

Работа охлаждаемых помещений характеризуется количественными показателями — параметрами. Такими параметрами в общем случае являются температура, влажность воздуха, скорость движения и газовый состав воздуха. В зависимости от характера технологического процесса параметры охлаждаемого помещения могут изменяться непрерывно по определенному закону или поддерживаться постоянными.

В большинстве случаев в помещениях должны устанавливаться и длительное время поддерживаться определенные параметры, отвечающие технологическим требованиям. Например, в помещениях, где проводится холодильная обработка и хранение продуктов, должна по возможности быстрее понижаться температура воздуха, а затем поддерживаться длительное время температура, относительная влажность, а иногда и скорость движения воздуха.

Кроме того, в ряде случаев приходится поддерживать определенный состав газовой среды, а также очищать воздух помещения от механических и бактериальных загрязнений и запаха. Рассмотрим характер изменения наиболее распространенных параметров — температуры и относительную влажность воздуха в охлаждаемом помещении и влияющие на них факторы.

2.2.1 Равновесная температура воздуха в охлаждаемом помещении

Для понижения температуры воздуха в помещении (среды в аппарате) и поддержания ее на заданном уровне объект необходимо охлаждать с помощью охлаждающих устройств, которые обеспечивают температуру охлаждающей среды t_0 . С момента понижения температуры помещения $t_{\text{пм}}$ в него начинает проникать теплота из окружающей среды с температурой $t_{\text{н}}$ и возможно из других источников. При этом температуры соотносятся так: $t_{\text{н}} > t_{\text{пм}} > t_0$.

Для получения зависимости, описывающей изменение температуры помещения во времени, воспользуемся законом сохранения энергии (теплоты). В соответствии с ним можно утверждать, что изменение во времени количества теплоты $H_{\text{пм}}$ в помещении равно разности между теплопритоком $Q_{\text{пр}}$ в помещение и теплоотводом $Q_{\text{от}}$ из него, осуществляемым системой охлаждения. Это утверждение можно представить следующим образом:

$$dH_{\text{пм}}/d\tau = Q_{\text{пр}} - Q_{\text{от}}. \quad (2.1)$$

Количество теплоты в помещении в рассматриваемый момент равно

$$H_{\text{пм}} = M_{\text{в}}c_{\text{в}}t_{\text{пм}}, \quad (2.2)$$

где $M_{\text{в}}$ — масса воздуха в помещении, кг; $c_{\text{в}}$ — удельная теплоемкость воздуха, кДж/(кг·К); $t_{\text{пм}}$ — текущая температура воздуха в помещении, °С.

Продифференцировав уравнение (2.2) и подставив его в уравнение (2.1), получим после преобразований

$$dt_{\text{пм}}/d\tau = (Q_{\text{пр}} - Q_{\text{от}})/(M_{\text{в}}c_{\text{в}}) \text{ или } dt_{\text{пм}}/d\tau = (Q_{\text{пр}} - Q_{\text{от}})/C_{\text{в}}, \quad (2.3)$$

где $C_{\text{в}}$ — относительная теплоемкость воздуха в помещении, кДж/К, представляющая собой количество теплоты, которое надо подвести к помещению или отвести от него, чтобы изменить температуру помещения на 1 К.

По условию в охлаждаемом помещении должна поддерживаться постоянная температура, то есть $t_{\text{пм}} = \text{const}$. Это возможно при $dt_{\text{пм}}/d\tau = 0$, что в свою очередь означает

$$Q_{\text{пр}} = Q_{\text{от}}. \quad (2.4)$$

Однако равновесие теплового состояния является временным, так как теплоподвод и теплоотвод изменяются в процессе работе. Если теплоприток становится больше теплоотвода, то это вызывает повышение

температуры $t_{\text{пм}}$ и наоборот. В связи с этим важно знать, как ведет себя охлаждаемый объект, выведенный из состояния равновесия. Для упрощения ситуации можно считать, что в охлаждаемое помещение проникает теплота только через наружные ограждения. Тогда можно написать

$$Q_{\text{пр}} = Q_{\text{н}} = k_{\text{н}} F_{\text{н}} (t_{\text{н}} - t_{\text{пм}}), \quad (2.5)$$

где $k_{\text{н}}$ — коэффициент теплопередачи ограждений, Вт/(м² · К); $F_{\text{н}}$ — площадь поверхности ограждений, м²; $t_{\text{н}}$ — температура наружного воздуха, °С.

Теплоотвод посредством охлаждающего устройства определяется по уравнению

$$Q_{\text{от}} = Q_{\text{о}} = k_{\text{о}} F_{\text{о}} (t_{\text{пм}} - t_{\text{о}}), \quad (2.6)$$

где $k_{\text{о}}$ — коэффициент теплопередачи охлаждающих устройств; Вт/(м² · К); $F_{\text{о}}$ — площадь поверхности охлаждающих устройств, м²; $t_{\text{о}}$ — температура охлаждающей поверхности (можно считать равной температуре охлаждающей среды).

Тогда, в соответствии с выражением (2.4)

$$k_{\text{н}} F_{\text{н}} (t_{\text{н}} - t_{\text{пм}}) = k_{\text{о}} F_{\text{о}} (t_{\text{пм}} - t_{\text{о}}). \quad (2.7)$$

Если внешние условия изменились, например, повысилась температура наружного воздуха, то это вызовет увеличение теплопритока $Q_{\text{н}}$, как следует из выражения (2.5), и его превышение над теплоотводом $Q_{\text{о}}$. В результате повысится температура воздуха в помещении, что вызовет рост теплоотвода в соответствии с выражением (2.6). Но повышение температуры воздуха будет замедлять рост теплопритока через ограждения до тех пор, пока теплоприток не сравняется с растущим теплоотводом при новом значении температуры $t_{\text{пм}}$. Следовательно, температура $t_{\text{пм}}$ самоустанавливается и называется равновесной температурой.

Такое самоустановление температуры охлаждаемого помещения (объекта) не всегда соответствует технологическим требованиям. Поэтому надо знать от каких параметров зависит температура $t_{\text{пм}}$, воздействуя на которые можно добиться ее изменения в желаемом направлении.

Равновесную температуру воздуха в помещении можно найти из уравнения (2.7)

$$t_{\text{пм}} = (k_{\text{н}} F_{\text{н}} t_{\text{н}} + k_{\text{о}} F_{\text{о}} t_{\text{о}}) / (k_{\text{н}} F_{\text{н}} + k_{\text{о}} F_{\text{о}}). \quad (2.8)$$

Правая часть уравнения (2.8) включает величины, изменяя которые можно изменить температуру $t_{\text{пм}}$. Регулирующим воздействием является теплоотвод, поэтому для регулирования температуры $t_{\text{пм}}$ следует изменять значения величин, входящих в уравнение (2.6), то есть $k_{\text{о}}$, $F_{\text{о}}$ и

t_0 , так как воздействовать на k_n , F_n и t_n не представляется возможным. Так, изменяя скорость циркуляции воздуха через охлаждающее устройство (например, пуском и остановкой вентилятора), можно изменять интенсивность теплоотдачи охлаждающих устройств и значение k_0 ; отключением части или всех охлаждающих устройств можно изменять площадь F_0 . Температура охлаждающей среды t_0 в общем случае тоже может быть изменена.

Если в выражении (2.8) разделить все члены на $k_0 F_0$, то оно примет вид

$$t_{\text{пм}} = [k_n F_n t_n / (k_0 F_0) + t_0] / [k_n F_n t_n / k_0 F_0 + 1]. \quad (2.9)$$

При значительном превышении $k_0 F_0$ над $k_n F_n$, то есть если $k_0 F_0 \gg k_n F_n$, равновесная температура, как это видно из выражения (2.9), будет стремиться к t_0 . Аналогичными рассуждениями можно показать, что при $k_0 F_0 \ll k_n F_n$ равновесная температура будет стремиться к t_n .

Наличие других теплопритоков, например, от продуктов Q_n и от электродвигателей вентиляторов $Q_{\text{эл}}$ в охлаждаемое помещение не вносит качественных поправок в сделанные выводы. Равновесная температура в этом случае может быть определена по выражению

$$t_{\text{пм}} = (k_n F_n t_n + k_0 F_0 t_0 + Q_n + Q_{\text{эл}}) / (k_n F_n + k_0 F_0).$$

2.2.2 Равновесная относительная влажность воздуха

Относительная влажность воздуха в охлаждаемом помещении $\varphi_{\text{пм}}$ (%) самоуставливается в результате стремления к равенству влагопритока в помещение $M_{\text{пр}}$ и влагоотвода из него $M_{\text{от}}$. Зависимость, описывающая скорость изменения относительной влажности во времени, полученная на основе закона сохранения массы, имеет вид

$$d\varphi_{\text{пм}}/d\tau = (M_{\text{пр}} - M_{\text{от}})/D, \quad (2.10)$$

где D — относительная влагоемкость помещения, кг/%, представляющая собой массу влаги, которую надо подвести к помещению или отвести от него, чтобы изменить относительную влажность воздуха в помещении на 1%.

Если в охлаждаемом помещении должна поддерживаться постоянная влажность, то есть $\varphi_{\text{пм}} = \text{const}$, то должно быть $d\varphi_{\text{пм}}/d\tau = 0$, а это возможно при

$$M_{\text{пр}} = M_{\text{от}}. \quad (2.11)$$

Влагоприток в охлаждаемом помещении возникает от нескольких источников, например, испарение влаги с поверхностей продуктов (усушка) M_n и подача влаги для увлажнения воздуха $M_{\text{ув}}$. Тогда

$$M_{\text{пр}} = M_n + M_{\text{ув}}. \quad (2.12)$$

Массовый поток испарившейся влаги с поверхности продуктов определяют по формуле

$$M_{\text{и}} = \beta_{\text{п}} F_{\text{п}} (p''_{\text{п}} - p_{\text{пм}}). \quad (2.13)$$

Так как $\varphi_{\text{пм}} = p_{\text{пм}}/p''_{\text{пм}}$, то уравнение (2.13) можно записать так:

$$M_{\text{и}} = \beta_{\text{п}} F_{\text{п}} (p''_{\text{п}} - \varphi_{\text{пм}} p''_{\text{пм}}), \quad (2.14)$$

где $\beta_{\text{п}}$ — коэффициент испарения влаги с поверхности продуктов, $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{Па})$; $F_{\text{п}}$ — площадь поверхности продуктов, м^2 ; $p''_{\text{п}}$ — давление насыщенного водяного пара над поверхностью продуктов при температуре поверхности, Па; $p_{\text{пм}}$ — парциальное давление водяного пара в воздухе охлаждаемого помещения вдали от продуктов, Па.

Влагоотвод в охлаждаемом помещении $M_{\text{о}}$ ($\text{кг}/\text{с}$) осуществляется конденсацией водяного пара из воздуха на поверхности охлаждающих устройств

$$M_{\text{о}} = \beta_{\text{о}} F_{\text{о}} (p_{\text{пм}} - p''_{\text{о}})$$

или с учетом равенства $\varphi_{\text{пм}} = p_{\text{пм}}/p''_{\text{пм}}$

$$M_{\text{о}} = \beta_{\text{о}} F_{\text{о}} (\varphi_{\text{пм}} p''_{\text{пм}} - p''_{\text{о}}), \quad (2.15)$$

где $\beta_{\text{о}}$ — коэффициент конденсации водяного пара на поверхности охлаждающих устройств, $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{Па})$; $F_{\text{о}}$ — площадь поверхности охлаждающих устройств, м^2 ; $p''_{\text{о}}$ — давление насыщенного водяного пара над поверхностью охлаждающих устройств при температуре $t_{\text{о}}$, Па.

Подставив выражения (2.14) и (2.15) в (2.11), получим

$$\beta_{\text{п}} F_{\text{п}} (p''_{\text{п}} - p_{\text{пм}}) + M_{\text{ув}} = \beta_{\text{о}} F_{\text{о}} (\varphi_{\text{пм}} p''_{\text{пм}} - p''_{\text{о}}). \quad (2.16)$$

Равновесная относительная влажность воздуха охлаждаемого помещения находится из уравнения (2.16)

$$\varphi_{\text{пм}} = (\beta_{\text{п}} F_{\text{п}} p''_{\text{п}} + \beta_{\text{о}} F_{\text{о}} p''_{\text{о}} + M_{\text{ув}}) / [(\beta_{\text{п}} F_{\text{п}} + \beta_{\text{о}} F_{\text{о}}) p''_{\text{пм}}]. \quad (2.17)$$

В правой части выражения (2.17) содержатся величины, воздействуя на которые можно изменить $\varphi_{\text{пм}}$ в желаемом направлении. Регулирующим воздействием здесь будет влагоприток $M_{\text{ув}}$ и влагоотвод $M_{\text{о}}$. Если не применяют искусственное увлажнение воздуха, то для регулирования $\varphi_{\text{пм}}$ следует изменять $\beta_{\text{о}}$, $F_{\text{о}}$ и $p''_{\text{о}}$, так как воздействовать на $\beta_{\text{п}}$, $F_{\text{п}}$ и $p''_{\text{п}}$, как правило, нецелесообразно.

Таким образом, относительная влажность воздуха регулируется при помощи тех же факторов, которые используют при регулировании температуры воздуха, то есть изменением скорости движения воздуха, площади и температуры поверхности охлаждающих устройств. Такое наложение процессов затрудняет регулирование и температуры воздуха, и его относительной влажности.

Особенностью регулирования влажности воздуха в охлаждаемых помещениях является наличие постоянного влагоотвода путем непрерывной конденсации водяного пара на поверхности охлаждающих устройств. По этой причине в большинстве случаев требуется только увлажнять воздух помещения и повышать тем самым его влажность. В тех же случаях, когда требуется понижение влажности, осушать воздух можно интенсификацией β_0 , увеличением площади F_0 и понижением температуры t_0 .

При искусственном увлажнении воздуха влагу в помещение могут подавать в виде пара или капельной воды. Процесс увлажнения воздуха водяным паром вызывает небольшое повышение температуры воздуха помещения, а увлажнение капельной водой может привести к некоторому понижению температуры воздуха.

Для последующего анализа введем следующие обозначения:

$$\beta_n F_n / \beta_0 F_0 = \chi \quad \text{и} \quad p''_n / p''_0 = \varphi_0.$$

Если β_n и β_0 считать постоянными, незначительно отличающимися друг от друга, то χ будет представлять собой отношение F_n к F_0 . Физический смысл величины φ_0 будет ясен из дальнейшего.

С учетом принятых обозначений уравнение (2.17) преобразуем, разделив числитель и знаменатель на $\beta_0 F_0$ и p''_n :

$$\varphi_{пн} = [\chi p''_n / p''_{пн} + \varphi_0 + M_{ув} / (\beta_0 F_0 p''_{пн})] / (\chi + 1). \quad (2.18)$$

Полученное выражение (2.18) позволяет рассмотреть ряд условий установления влажности воздуха в охлаждаемых помещениях. Сначала рассмотрим простую ситуацию, когда существует единственный источник влагопритока, обусловленный испарением влаги с поверхности продуктов $M_{п. и.}$, то есть $M_{ув} = 0$. Тогда относительная влажность воздуха $\varphi_{пн1}$ будет равна

$$\varphi_{пн1} = (\chi p''_n / p''_{пн} + \varphi_0) / (\chi + 1). \quad (2.19)$$

Из уравнения (2.19) следует, что относительная влажность $\varphi_{пн1}$ зависит в основном от χ и φ_0 . Существенное значение имеют две ситуации, соответствующие минимальному и максимальному значениям χ .

Если $\beta_o F_o \gg \beta_n F_n$, то $\chi \approx 0$. Значение χ строго равно нулю для помещения, в котором нет продуктов. Но $\chi = 0$ и при $\beta_n = 0$, то есть при хранении продуктов в герметичной упаковке. В этом случае $\varphi_{пм1} = \varphi_o$. Таким образом, оказывается, что φ_o — равновесная влажность воздуха в охлаждаемом помещении, устанавливающаяся при отсутствии влагопритока. При $\varphi_1 = \varphi_o$ должно соблюдаться равенство $p_{пм}/p''_{пм} = p_o/p''_{пм}$, откуда следует $p_{пм} = p''_o$. Равенство парциальных давлений влечет за собой равенство влагосодержаний $d_{пм} = d_o$. Это означает, что на $i - d$ — диаграмме влажного воздуха точка k , соответствующая состоянию воздуха в охлаждаемом помещении, будет находиться на линии постоянного влагосодержания, проведенной через точку o , характеризующую состояние насыщенного воздуха над поверхностью охлаждающих устройств при их температуре t_o (рис. 2.1).

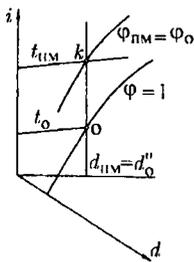


Рис. 2.1. Равновесная влажность воздуха при отсутствии влагопритока

В отношении φ_o можно также сказать, что она самая низкая относительная влажность воздуха, какая может установиться в охлаждаемом помещении с температурой воздуха $t_{пм}$ при температуре поверхности охлаждающих устройств t_o .

Если $\beta_o F_o \ll \beta_n F_n$, то $\chi \approx \infty$. В этом случае $\varphi_{пм1} \approx 1$.

Кроме того, можно утверждать, что равновесная относительная влажность воздуха в охлаждаемом помещении устанавливается в пределах $\varphi_o \leq \varphi_{пм} \leq 1$. При единственном источнике влагопритока — испарении влаги с поверхности продуктов, а также при постоянных температурах воздуха в помещении и поверхности охлаждающих устройств, она зависит только от соотношения между поверхностью продуктов и поверхностью охлаждающих устройств. Чем меньше продуктов находится в охлаждаемом помещении, тем ниже будет в нем относительная влажность воздуха. При хранении упакованных продуктов $\varphi_{пм}$ будет приближаться к φ_o .

При необходимости поддерживать относительную влажность воздуха на заданном уровне между φ_o и 1 из выражения (2.19) следует, что величинами, на которые следует воздействовать для изменения относительной влажности в желаемом направлении, являются χ и φ_o . Величина χ может менять свое значение при изменении не только F_o , но и φ_o . Влажность же φ_o зависит от t_o .

Преобразуем уравнение (2.18) с учетом (2.19)

$$\varphi = \varphi_{пм1} + M_{ув} / [(\varphi_o F_o p''_{пм})(\chi + 1)]. \quad (2.20)$$

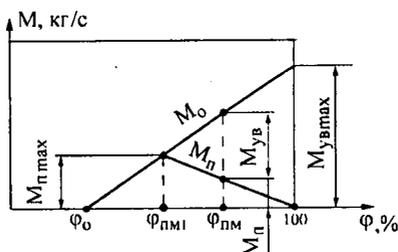


Рис. 2.2. Изменение баланса влаги при увлажнении воздуха

Из полученного выражения (2.20) можно найти массовую подачу влаги $M_{ув}$, необходимую для поддержания заданного значения $\varphi_{пм}$

$$M_{ув} = (\varphi_{пм} - \varphi_{пм1})\beta_0 F_0 p''_{пм} (\chi + 1). \quad (2.21)$$

Уравнение (2.21) позволяет принять правильное решение при регулировании влажности воздуха. Так, можно предположить, что для прекращения усушки при любой влажности воздуха в помещении достаточно подать массовый поток влаги, равный испаряющемуся с поверхности продуктов. Однако оказывается, что уменьшить усушку добавлением влаги в воздух можно только в том случае, если в помещении поддерживается влажность более высокая, чем $\varphi_{пм1}$, так как значение $M_{ув}$ может быть положительным только при $\varphi_{пм} > \varphi_{пм1}$.

Соотношение между составляющими баланса влаги при различной относительной влажности воздуха показано на рис. 2.2.

При заданных значениях χ и $t_{пм}$ в помещении установится относительная влажность $\varphi_{пм1}$. Ей соответствует максимальная в данных условиях усушка продуктов $M_{п\text{max}}$. Если затем в помещение подавать влагу, например водяной пар, то с ростом влажности воздуха уменьшается усушка продуктов. Хотя при росте влажности воздуха масса влаги, необходимая для насыщения воздуха, постоянно уменьшается, масса подаваемой влаги растет вследствие увеличивающегося массового потока, конденсирующегося на поверхности охлаждающих устройств.

Максимальный массовый поток влаги, необходимый для доведения воздуха до насыщенного состояния, можно определить по уравнению, полученному из (2.21) при подстановке $\varphi_{пм1}$ из (2.19)

$$M_{ув, \text{max}} = (1 - \varphi_0)\beta_0 F_0 p''_{пм}. \quad (2.22)$$

Из рис. 2.2 следует, что вся эта масса влаги будет конденсироваться на охлаждающих устройствах. Если в помещении находятся продукты, не являющиеся источником потока влаги, а относительная влажность

больше, чем φ_0 , то для ее установления потребуется массовая подача влаги

$$M_{ув} = (\varphi_{пм} - \varphi_0)\beta_0 F_0 p''_{пм}. \quad (2.23)$$

Выражения (2.21)–(2.23) свидетельствуют о том, что массовый поток влаги, подаваемый для увлажнения воздуха, зависит не только от заданной влажности. Он возрастает при повышении температуры воздуха, при увеличении площади поверхности охлаждающих устройств и повышении интенсивности влагоотвода. Повышение влажности воздуха в помещении путем подачи в него влаги не требует увеличения площади поверхности охлаждающих устройств, но при этом возрастает интенсивность выпадения инея на их поверхности, что требует увеличения холодопроизводительности компрессора. Это обстоятельство является существенным недостатком такого метода регулирования влажности. При достаточной холодопроизводительности компрессора увлажнение воздуха путем подачи влаги не оказывает существенного влияния на температуру воздуха в помещении, в отличие от других методов, рассмотренных выше.

В ситуациях, когда технологический (производственный) процесс предусматривает непрерывное изменение температуры охлаждаемого объекта, холодильная система должна обеспечивать в соответствии с выражением (2.3) соотношение между теплопритоком и теплоотводом.

2.3 Определение вместимости и площади холодильника

Общие положения проектирования холодильников. Проекты холодильников выполняют специализированные проектные организации, имеющие лицензию на эту работу, на основе задания на проектирование, технико-экономических расчетов, подтверждающих экономическую целесообразность строительства, предпроектных технических изысканий в отношении гидрогеологических характеристик площадки строительства, руководствуясь НТД. Обычно используют типовые проекты, внося в них сравнительно небольшие изменения, связанные с местными условиями места строительства. Это упрощает и удешевляет не только проектирование, но и строительство.

Определение вместимости холодильника. Требуемую вместимость холодильника с распределительной функцией находят по таблице грузооборота, а для холодильника с производственной функцией — по производительности. *Таблица грузооборота* — это структурированные данные об основной группе грузов (мясо, птица, масло и др.) в тоннах условного груза: одновременно хранящихся, поступающих, выпус-

каемых и переходящих, в течение каждого месяца, представленные в форме таблицы.

Масса одновременно хранящегося условного груза, взятая из таблицы грузооборота, позволяет найти требуемую расчетную вместимость холодильника как максимум суммы вместимостей камер хранения с различными режимами работы для охлажденных $M_{охл}$, замороженных $M_{зам}$ и универсальным режимом $M_{ун}$: $M_{хол} = (M_{охл} + M_{зам} + M_{ун})_{max}$.

Максимальная месячная масса поступающего условного груза $M_{м.п. max}$, взятая из таблицы грузооборота, является исходным значением для определения производительности (размеров) устройств (помещений) для холодильной обработки продуктов, например, как максимальное суточное поступление

$$M_{с.п} = (M_{м.п. max}/30)k_{пос}, \quad (2.24)$$

где $k_{пос}$ — коэффициент неравномерности поступления груза, учитывающий возможные отклонения массы груза, поступающего в отдельные сутки, от среднесуточного поступления, равного 1,5–2,5.

Аналогичным образом можно определить максимальный суточный выпуск груза

$$M_{с.в} = (M_{м.в. max}/22)k_{вып}, \quad (2.25)$$

где $M_{м.в. max}$ — максимальный месячный выпуск груза; $k_{вып}$ — коэффициент неравномерности выпуска груза, равный 1,1–1,5; 22 — число суток в месяце, в течение которых выпускается груз.

Для расчета длины грузовых платформ, числа лифтов, средств механизации грузовых и транспортных работ используют максимум суммы суточного поступления и выпуска груза, равную

$$M_{п+в. max} = [(M_{м.п. max}/30)k_{пос} + (M_{м.в. max}/22)k_{вып}]_{max}. \quad (2.26)$$

При отсутствии данных грузооборота массы поступающего и выпускаемого грузов могут быть найдены по величине оборачиваемости холодильника $r_{хол}$, которая определяется числом оборотов сменяемых грузов в холодильнике в течение года. Например, суточное поступление груза $M_{с.п} = (M_{хол}r_{хол}/365)k_{пос}$ и суточный выпуск груза $M_{с.в} = (M_{хол}r_{хол}/253)k_{вып}$.

Вместимость холодильника с производственной функцией определяют по сменной или суточной мощности производства. Например, вместимость холодильника мясокомбинатов принимают равной 40-сменной производительности. Тогда холодильник типового комбината мощностью 100 т в смену составит $M_{хол} = 40M_{см} = 4000$ т.

Определение размеров помещений холодильника. Вместимость охлаждаемых помещений холодильника позволяют найти площадь и объем этих помещений. Размеры охлаждаемых помещений зависят также от способа складирования в них грузов, а последний — от вида продуктов, оборачиваемости груза, числа и габаритных размеров единиц хранения.

В общем случае складирование груза в охлаждаемых помещениях может быть в виде штабеля (навалом или из грузовых пакетов), на полках стеллажей, на подвесных путях, на этажерках и тележках.

Преобладающий способ складирования груза — штабелирование, позволяющее рационально использовать строительный объем охлаждаемых помещений. Плотность укладки груза в штабель зависит от вида груза (его объемной массы), формы и вида тары в случае укладки упакованного груза. В некоторых случаях высота штабеля может быть ограничена еще и прочностью тары, в которую упакованы продукты, так как при значительной высоте штабеля нагрузка на нижние ряды пакетов может оказаться недопустимо большой. В этих условиях груз может храниться на поддонах с разгрузочным каркасом (стойками), принимающим на себя нагрузку от верхних рядов груза. К недостаткам штабелирования следует отнести ограниченную высоту штабеля, затрудненный доступ к грузовым единицам (без перекладки груза), первыми поступившими на хранение.

Более прогрессивным способом является складирование на стеллажах с движением грузовых единиц по принципу: «первый на входе — первый на выходе». Это способ осуществляется при использовании стационарных (с гравитационными или горизонтальными конвейерами) и подвижных стеллажей.

Грузовой объем помещения (или группы помещений) $V_{гр}$, необходимый для размещения массы груза M при норме загрузки единицы объема g_v , равен

$$V_{гр} = M/g_v. \quad (2.27)$$

Эти же данные позволяют пересчитать действительную вместимость помещений (или всего холодильника) в условную и обратно, поскольку для каждого помещения неизменной величиной является его грузовой объем:

$$V_{гр} = M_{усл}/g_{v,усл} = M/g_v,$$

откуда

$$M_{усл} = M g_{v,усл}/g_v. \quad (2.28)$$

Грузовая площадь или площадь, занимаемая штабелем

$$F_{\text{гр}} = V_{\text{гр}}/h_{\text{гр}}, \quad (2.29)$$

где $h_{\text{гр}}$ — грузовая высота, под которой понимают высоту штабеля.

Высота штабеля ограничивается строительной высотой помещения, причем по технологическим условиям считается необходимым, чтобы в предельном случае штабель не доходил до потолка или до низа балок на 0,2 м и отступал на 0,3 м от потолочных охлаждающих приборов, а также воздуховодов, если они имеются в помещении (или должны там быть).

Произведение $g_v h_{\text{гр}}$ представляет собой нагрузку на 1 м² пола, которая не должна превышать допустимую нагрузку для данного пола (на грунте, перекрытии) $g_{f\text{доп}}$, т.е. чтобы $g_v h_{\text{гр}} < g_{f\text{доп}}$.

Допустимая нагрузка на междуэтажные перекрытия в холодильниках может быть 2000 – 3000 кг/м², а на пол, лежащий на грунте, не менее 5000 кг/м². Однако не вся строительная площадь помещения может быть занята грузом. Часть площади могут занимать колонны, а также отступы шириной 0,3 м от стен, колонн и охлаждающих устройств. Для доступа к штабелю и для проезда транспортно-складских средств в помещении предусматривают проезды, число которых зависит от площади, а ширина от типа этих средств. С учетом этих данных можно определить необходимую строительную площадь охлаждаемого помещения $F_{\text{стр}} = F_{\text{гр}} + \sum F_{\text{н.гр}}$, где $\sum F_{\text{н.гр}}$ — сумма площадей участков помещения, на которых не может быть размещен груз.

При ориентировочных расчетах строительную площадь помещения можно определить, пользуясь коэффициентом использования площади помещения β_f , который равен отношению грузовой площади помещения к его строительной (полной) площади $\beta_f = F_{\text{гр}}/F_{\text{стр}}$, откуда

$$F_{\text{стр}} = F_{\text{гр}}/\beta_f. \quad (2.30)$$

Коэффициент использования площади β_f зависит от размеров помещения: чем меньше помещение, тем большую долю составляют проезды и отступы. Примерные значения этого коэффициента: 0,65 для малых помещений (от 20 до 100 м²); 0,70 для средних помещений (от 100 до 400 м²) и 0,80 для крупных помещений (свыше 400 м²).

В настоящее время грузовые пакеты формируют в основном на стандартных поддонах. Масса грузовых пакетов на плоских поддонах составляет 800–1200 кг. Плотность укладки продуктов на поддонах в камерах составляет, 160 кг/м³ охлаждения; 300–550 кг/м³ замораживания; 250 кг/м³ с универсальным режимом. Объем охлаждаемого помещения, занимаемый стандартным поддоном (грузовым пакетом), т.е. относительный охлаждаемый объем, зависит от способа складирова-

ния. Так, при формировании штабеля из 5 ярусов поддонов с установкой на углах поддонов разгрузочных металлических стоек в камере высотой 9,2 м относительный объем составляет приблизительно 3 м^3 . При складировании поддонов на стационарных 5-ярусных стеллажах в камере высотой 10,6 м относительный объем составляет приблизительно 6 м^3 . При складировании поддонов на подвижных 5-ярусных стеллажах относительный объем составляет $3,7 \text{ м}^3$. При складировании поддонов на 11-ярусных стеллажах высотного холодильника с высотой камеры 23 м относительный объем составляет приблизительно 4 м^3 .

Флодоовощную продукцию хранят навалом, в мешках, ящиках и контейнерах. Картофель, корнеплоды и капусту обычно хранят навалом в камере или деревянном бункере: картофель высотой до 5 м и вместимостью до 500 т, корнеплоды и капусту высотой до 3 м (на заготовительных холодильниках) или в сетчатых мешках массой до 50 кг, которые укладывают на поддоны в 3–4 яруса. Деревянные и картонные ящики массой до 30 кг укладывают на поддоны в 4–5 ярусов, а поддоны — в 3–4 яруса. Контейнеры вместимостью $0,5\text{--}0,85 \text{ м}^3$ укладывают в 5 ярусов.

Груз может находиться на подвесных путях как в помещениях для охлаждения или замораживания, так и в помещениях для хранения. На подвесных путях размещается главным образом мясо в полутушах или четвертинах. На отечественных пищевых предприятиях принят однорельсовый подвесной путь. Расстояние между нитками подвесных путей не менее 0,8 м.; высоту верхней кромки рельса подвесного пути над полом принимают для крупного рогатого скота 3,35 м (на распределительных холодильниках 3,0 м).

Если груз находится в подвешенном состоянии, то определение необходимых размеров помещений ведется по норме нагрузки, отнесенной к 1 м длины подвесного пути g_l или к 1 м^2 строительной площади помещения g_f , которые связаны зависимостью $g_l = 1,2g_f$, где 1,2 — коэффициент, учитывающий часть строительной площади занятой стрелками подвесных путей и отступами от них и строительными конструкциями: $g_f = 0,20$ и $0,25 \text{ т/м}^2$ в зависимости от вида скота. Тогда строительная площадь помещения

$$F_{\text{стр}} = M/g_f = 1,2M/g_l. \quad (2.31)$$

Для производственных помещений, для которых задана производительность M_c т/сут, учитывая, что вместимость помещения $M = M_c\tau$ (где τ — время холодильной обработки, сут), строительная площадь

$$F_{\text{стр}} = M_c\tau/g_f = 1,2M_c\tau/g_l. \quad (2.32)$$

При укладке мелких грузов на полках напольных тележек или подвесных этажерок норма загрузки площади полки составляет 20–35 кг/м². Обычно эта норма в конкретных условиях уточняется в зависимости от вида груза и от конструкции тележки или этажерки.

Кроме производственных помещений, в составе предприятия предусматриваются вспомогательные помещения, необходимые для выполнения технологических операций, не связанных с холодильной обработкой (например, накопители грузов, помещения для сортировки, упаковки и т. д.), для выполнения операций, связанных с приемкой или отправлением грузов (экспедиции), для осуществления транспортных связей (коридоры, вестибюли, лестничные клетки и лифтовые шахты), для отделения друг от друга помещений с резко отличающимися тепловыми и влажностными режимами (например, тамбуры, представляющие собой тепловые и влажностные шлюзы).

При проведении предварительных расчетов площадь, отводимую для вспомогательных помещений, можно учесть путем введения коэффициента использования площади всего предприятия $\beta_{\text{хол}}$, который представляет собой отношение строительной площади всех производственных помещений $\sum F_{\text{стр}}$ к площади $F_{\text{хол}}$ всего холодильника $\beta_{\text{хол}} = \sum F_{\text{стр}}/F_{\text{хол}}$ и в определенной степени является мерой полезного использования производственной площади предприятия в пределах изолированного контура. Значение этого коэффициента зависит от размеров холодильника, и естественно, что на крупных предприятиях относительная доля вспомогательных помещений меньше.

Коэффициент $\beta_{\text{хол}}$ для малых холодильников 0,70–0,75; для средних — 0,75–0,85; для крупных — 0,85–0,90. Следовательно, общая площадь всех помещений холодильника

$$F_{\text{хол}} = \sum F_{\text{стр}}/\beta_{\text{хол}}. \quad (2.33)$$

Площади некоторых вспомогательных помещений могут быть рассчитаны по нормам, а других — уточняются при выполнении планировки.

Данные по максимальному суточному поступлению и выпуску грузов позволяют определить размеры грузового фронта холодильника, под которым понимают длину грузовых платформ, достаточную для того, чтобы обеспечить загрузку и разгрузку прибывающих на предприятие транспортных средств. В зависимости от типа холодильника и его местоположения приходится предусматривать возможность прибытия различных видов грузового транспорта. Для определения длины грузовой платформы всю суточную массу прибывающих и выпускаемых грузов распределяют по видам транспорта ($M_{\text{жел}}$,

$M_{\text{авт}}, M_{\text{вод}}$) в соответствии с долей перевозимых ими грузов, т. е. $M_{(п+в)\text{max}} = M_{\text{жел}} + M_{\text{авт}} + M_{\text{вод}}$.

Длина железнодорожной платформы равна, м

$$L_{\text{жел}} = M_{\text{жел}} l_{\text{ваг}} k_{\text{ваг}} / (g_{\text{ваг}} p_{\text{ваг}} \eta_{\text{исп}}), \quad (2.34)$$

где $l_{\text{ваг}}$ — длина вагона, составляющая 20–22 м; $k_{\text{ваг}}$ — коэффициент, учитывающий неравномерность подачи вагонов по отношению к среднему значению, равный 1,5; $g_{\text{ваг}}$ — грузоподъемность вагона, равная 39–40 т; $p_{\text{ваг}}$ — число подач вагонов в сутки; $\eta_{\text{исп}}$ — коэффициент использования грузоподъемности вагона.

Длина автомобильной платформы, м

$$L_{\text{авт}} = M_{\text{авт}} b_{\text{авт}} \Psi \tau_{\text{авт}} k_{\text{авт}} / (g_{\text{авт}} \eta_{\text{исп}} \cdot 8), \quad (2.35)$$

где $b_{\text{авт}}$ — ширина кузова автомобиля с учетом расстояния до соседнего автомобиля, равная 3–4 м; Ψ — доля автомобилей, прибывающих в течение дневной смены, равная 0,6; $\tau_{\text{авт}}$ — время загрузки или разгрузки автомобиля, равное 0,5–0,7 ч; $k_{\text{авт}}$ — коэффициент, учитывающий неравномерность прибытия автомобилей по отношению к их среднечасовому числу, равный 1–1,5; $g_{\text{авт}}$ — грузоподъемность автомобиля, т; $\eta_{\text{исп}}$ — коэффициент использования грузоподъемности автомобиля; 8 — продолжительность смены, ч.

2.4 Объемно-планировочные решения холодильников

В здании холодильника все производственные и вспомогательные помещения должны быть размещены как по горизонтали (в плане), так и по вертикали (высоте). Причем размещены должны быть так, чтобы обеспечивались поточность технологических процессов и рациональная взаимосвязь производственных, вспомогательных и других помещений. Чтобы выполнить такое размещение, называемое *объемно-планировочным решением*, необходимо знать назначение отдельных помещений, их число и размеры. Основными исходными документами, позволяющими решить эту задачу, являются схема технологического процесса и таблица грузооборота проектируемого предприятия.

При разработке объемно-планировочных решений зданий холодильников руководствуются требованиями нормативно-технической документации (НТД). Эти требования касаются решения различных аспектов: строительных, технологических, холодильных, энергетических, механизации, санитарных и др. Поэтому можно только указать основ-

ные требования, выполнение которых позволяет получить рациональное решение.

Принимаемые объемно-планировочные решения здания холодильника должны обеспечивать: осуществление технологического процесса, принятого в проекте; сокращение капитальных и эксплуатационных затрат; применение прогрессивной технологии обработки и хранения продуктов; защиту от промерзания грунта под полом холодильника; возможность последующего расширения; соблюдение правил техники безопасности, пожарной безопасности и санитарные требования.

Схема технологического процесса. Она характеризует качественную сторону производства предприятия, определяет наличие и последовательность технологических операций, которые должны быть произведены над сырьем, чтобы в конечном итоге был получен продукт заданного вида и необходимого качества. Для холодильных предприятий весьма важным является указание температуры и влажности воздуха, при которых происходит обработка продуктов на каждой из стадий технологического процесса.

В качестве примера можно взять схему технологического процесса на холодильнике мясокомбината. Как и на других холодильных предприятиях, здесь имеются операции, которые могут совершаться при положительных нефиксированных температурах (сортировка, взвешивание мяса и мясопродуктов и др.); операции, которые должны осуществляться при более или менее стабильных температурах и определенной скорости движения воздуха (охлаждение, замораживание) и операции, требующие поддержания не только стабильной отрицательной температуры, но и определенной влажности, скорости движения воздуха (например, хранение охлажденного и замороженного мяса).

Несомненно, что операции, требующие неодинаковых условий обработки, должны выполняться в отдельных помещениях (аппаратах). Для операций, проводимых в примерно одинаковых условиях среды, не обязательно предусматривать отдельные помещения; этот вопрос решается в зависимости от объема работ, вида оборудования, технологических возможностей осуществления разнородных процессов в одном помещении. Технологический процесс в большинстве случаев не зависит от производительности предприятия, т. е. от количественного фактора.

Для рационального распределения грузовых потоков, перемещаемых различными транспортными средствами, предусматривают грузовые платформы в общем случае для автомобильного и железнодорожного транспорта, грузовые балконы для водного транспорта.

Железнодорожная и автомобильная платформы примыкают к охлаждаемому контуру обычно к длинной стороне холодильника. Если пре-

дусматривают обе платформы, то обычно их размещают параллельно. Железнодорожная платформа (обычно предусматривается для холодильников вместимостью 1000 т и более) может быть открытой или закрытой с воротами в торцовых стенах. Пол платформы находится на уровне пола первого этажа и на высоте 1,3 м от уровня головки рельса.

Автомобильная платформа устраивается преимущественно открытой с покрытием (навесом), выступающим за пределы платформы не менее чем на 1,5 м. Закрытую автомобильную платформу оборудуют проемами с размерами, равными дверным проемам автомобилей, с герметизирующим устройством по периметру, к которому присоединяется торцовая поверхность кузова. Число проемов должно соответствовать максимальному числу автомобилей, одновременно разгружающихся и загружающихся.

Сокращение капитальных затрат. Оно осуществляется различными путями. Первое, что способствует этому, — унификация и типизация зданий и их конструктивных узлов, применение модульной системы размеров и модульного принципа компоновки одноэтажных холодильников. Последний позволяет получать требуемую вместимость холодильника набором определенного числа модулей, причем модулем может быть секция здания (камеры с грузовым коридором) или холодильник в целом.

Уменьшение размеров земельного участка и протяженности инженерных коммуникаций дает наибольший эффект. Длина и разветвленность инженерных коммуникаций зависит от компоновки производственных процессов. Размер земельного участка определяется выбором этажности, площадью подъездных путей, основных (производственных) и вспомогательных (экспедиций, коридоров и др.) помещений и грузовых платформ.

Возможными путями сокращения производственной площади является повышение плотности укладки и высоты штабеля груза, применение интенсивных технологических процессов и технологического оборудования, что позволяет сократить время технологических операций и существенно уменьшить необходимую производственную площадь.

Площадь грузовых коридоров, необходимых для осуществления транспортно-складских операций, можно сократить, если уменьшить число камер и увеличить их размеры. Существуют одноэтажные холодильники, имеющие планировку без коридоров, с выходом из камер непосредственно на грузовые платформы. В таких случаях платформы нередко выполняют не только закрытыми, но и охлаждаемыми. Примером холодильника как единой камеры является высотный холодильник.

Грузовые платформы могут выполняться достаточно большими и охлаждаемыми, чтобы выполнять и функцию экспедиции.

Для многоэтажных холодильников важным при выполнении планировок является вопрос о месте размещения лифтов и лестничных клеток. Возможны два вида расположения лифтов: внутреннее и внешнее. При внутреннем (в центре охлаждаемого контура) расположении лифтов сокращаются пути пробега транспортных средств и обеспечивается более высокая маневренность лифтов, поскольку они одинаково успешно могут обслуживать обе платформы. Однако в небольших зданиях значительно возрастает относительная роль площади, занятой вспомогательными помещениями в контуре холодильника, что сильно понижает коэффициент использования площади. В связи с этим внутреннее расположение лифтов может оказаться оправданным только для очень крупных холодильников. Желание улучшить использование площади при внутреннем расположении лифтов иногда приводит к отказу от вестибюлей. Однако в этом случае при открытых дверях возникает значительная циркуляция воздуха: теплый наружный воздух проходит через экспедицию, поднимается в лифтовые шахты и лестничные клетки и здесь соприкасается с холодными поверхностями, граничащими с низкотемпературными помещениями холодильника, в результате чего происходит конденсация влаги из воздуха на поверхностях ограждений; спускающийся из камер по лифтовым шахтам холодный воздух усиливает охлаждение поверхностей. Из-за выпадения влаги происходит обмерзание поверхностей лифтовых шахт и лестничных клеток. Чтобы не вызывать таких нежелательных процессов, на всех этажах предусматривают вестибюли, окружающие лифтовые шахты, а экспедиции на первом этаже отделены от платформ тамбурами, представляющими собой температурные и влажностные шлюзы.

Надежной защитой от проникновения теплого воздуха является устройство у дверей воздушной завесы, которая совершенно не препятствует движению транспорта и прохождению людей. При внешнем расположении лифтовых шахт и лестничных клеток проще устранить проникновение в холодильник теплого наружного воздуха.

Достоинством внешнего расположения лифтов (за охлаждаемым контуром) оказывается и то, что лестничные клетки получают естественное освещение.

Несомненно, все помещения, для которых не требуется поддержание низких температур, целесообразно выносить из охлаждаемого контура холодильника в пристройки, имеющие более дешевые строительные конструкции.

Сокращение эксплуатационных затрат. Оно может быть достигнуто путем уменьшения теплопритоков в охлаждаемые помещения и рациональной организации транспортно-складских работ, а также увеличением вместимости холодильника, поскольку эксплуатационные затраты на единицу вместимости, как и капитальные, уменьшаются с увеличением вместимости всего холодильника.

Сокращение теплопритоков достигается прежде всего уменьшением площади поверхности наружных ограждающих конструкций здания. Так как из всех геометрических тел прямоугольной формы наименьшую наружную поверхность, при сохранении того же самого объема, имеет куб, то совершенно естественна существовавшая прежде тенденция к строительству холодильников, по форме приближающихся к кубу. Однако при такой форме здания грузовой фронт холодильника может оказаться недостаточным.

Для сокращения теплопритоков целесообразно объединение всех охлаждаемых помещений здания в единый «холодный» блок. Если охлаждаемые помещения разбросаны по всему предприятию, то это не только увеличивает теплоприток через их ограждения, но и способствует значительному росту тепловых и энергетических потерь в трубопроводах.

Для уменьшения количества теплоты, влаги и пыли поступающих с воздухом через открытый дверной проем, а также шума и сквозняка, применяют различные устройства: тамбуры (шлюзовые помещения), закрытые платформы, пластмассовые прозрачные завесы и двухстворчатые двери, воздушные вертикальные завесы.

Пластмассовые завесы выполняют из мягких прозрачных полос поливинилхлорида толщиной 2–4 мм и шириной 200–400 мм. Они состоят из двух рядов полос, расположенных так, что полосы одного ряда перекрывают стыки другого. Размеры полос и степень их взаимного перекрытия (50–100%) выбирают в зависимости от назначения, условий эксплуатации и высоты дверного проема. Пластмассовые завесы применяют в низкотемпературных помещениях в дополнение к обычным дверям.

Самозакрывающиеся пластмассовые двухстворчатые двери состоят из мягкого прозрачного поливинилхлорида толщиной 10 мм и больше или из твердого прозрачного поликарбоната. Их применяют в условиях с постоянным движением транспортных средств.

Воздушные завесы ставят над дверным проемом с теплой стороны в ситуациях с интенсивным движением при наличии большой разности температур между внешним и внутренним воздухом.

Понижение температуры и влажности воздуха в коридорах и вестибюлях путем охлаждения его в воздухоохладителях, на поверхности которых осаждается влага, имеет значение и для исправной работы дверей в охлаждаемых помещениях. При высокой влажности воздуха может происходить конденсация и замерзание влаги на поверхностях ограждений в вестибюлях и коридорах, в том числе и на дверях, что нередко приводит к примерзанию их в закрытом положении.

Большое значение имеет снижение затрат на складские работы и, в частности, ручного труда. Это и обуславливает тенденцию к постройке главным образом одноэтажных холодильников, на которых значительно больше возможностей широко применять средства механизации грузовых работ, несмотря на увеличение (до 30–40%) теплопритоков (в связи с относительным ростом наружной поверхности холодильника), а также для повышения скорости оборачиваемости грузов, механизации и автоматизации работ.

Защита грунта под холодильником от промерзания. Она является особенностью низкотемпературных (с температурой воздуха ниже нуля) помещений, расположенных непосредственно на грунте, который может промерзнуть под этими помещениями. Промерзание влажного грунта под низкотемпературными помещениями на холодильниках приводит к выпучиванию полов в нижних этажах, появлению трещин в стенах, колоннах, междуэтажных перекрытиях. Несомненно, что это явление следует учитывать при выполнении планировок и предупреждать его вредные последствия. Надо иметь в виду, что из-за очень малого значения теплового потока, идущего от нижних слоев грунта, практически невозможно защититься от промерзания грунта с помощью тепловой изоляции. Однако говорить о возможном пучении грунта можно только в случае наличия влаги в грунте и при высоком уровне грунтовых вод. Последствия промерзания более сильно проявляются в мелкодисперсных грунтах (мелком песке, иле, тонкой глине).

Для многоэтажных холодильников целесообразным путем, избавляющим от опасных последствий пучения грунта, является отказ от расположения низкотемпературных помещений непосредственно на грунте; в этом случае низкотемпературные помещения можно размещать в этажах выше первого, или устраивать подвалы. Если используют подвалы, то в них предусматривают помещения с температурой -2°C и выше. Устройство подвалов под одноэтажными холодильниками, хотя изредка и встречается, не может быть рекомендовано, так как при этом теряется одно из главных преимуществ — возможность больших удельных нагрузок на пол. Не могут быть легкими и строительные конструкции таких холодильников, ставших по существу многоэтажными. Одноэтаж-

ные холодильники подвержены повреждениям даже в том случае, если фронт промерзания грунта не доходит до подошвы фундамента. Поэтому для их защиты применяют замену пучинистого грунта непучинистым и обогрев верхних слоев грунта под холодильником с помощью различных источников теплоты.

В настоящее время грунт защищают от промерзания путем подогрева пола охлаждаемых помещений с помощью различных устройств. Одним из таких устройств является совокупность вентилируемых каналов, выполненных из бетонных или пластмассовых труб длиной не более 30 м, уложенных под полом с шагом 0,8–1,2 м, с внутренним диаметром 0,2 м при свободном движении воздуха и 0,1 м при подаче воздуха вентилятором. В теплое время года в каналы подается наружный воздух, а в холодное время года (или при высокой влажности наружного воздуха) осуществляется рециркуляция воздуха, для чего воздух, нагнетаемый вентилятором в каналы, предварительно подогревается. Пол с таким нагревательным устройством называют шанцевым. Эти полы относительно дороги, так как требуют больших капитальных и значительных эксплуатационных затрат. Они рекомендуются для зданий небольших размеров (не более 30 м), так как из-за конденсации водяного пара из воздуха и замерзания конденсата образуются ледяные пробки, нарушающие циркуляцию воздуха и подогрев грунта.

Широкое применение нашли устройства с электрическим нагревом пола. Они требуют меньших капитальных затрат ввиду простоты конструкции, но значительных эксплуатационных затрат из-за расхода на нагрев электроэнергии. В настоящее время в основном используют гибкий нагревательный кабель, который пропускают через трубы, уложенные с шагом 0,3–0,4 м так, чтобы перегоревший участок можно было извлечь для замены.

В последнее время применяется также обогрев грунта жидким теплоносителем (не замерзающим при -20°C) с температурой $10\text{--}15^{\circ}\text{C}$, подаваемым насосом по трубам (полибутиленовым, полиэтиленовым) диаметром 25 мм, уложенным в бетонную плиту с шагом 0,5–1,5 м. Эта система является наиболее экономичной, если для нагревания используют источник бросовой теплоты (горячий пар хладагента, конденсирующийся хладагент).

Еще одним методом защиты грунта от промерзания является отрыв пола одноэтажного холодильника от земли. Такой холодильник строится на низких железобетонных столбах, и под холодильником образуется проветриваемое подполье высотой 0,9–1,0 м, которое продувается наружным воздухом путем его естественной циркуляции. Этот метод характеризуется повышенными капитальными затратами, низкими экс-

плуатационными расходами, при этом допустимая нагрузка на пол соответствует нагрузке для многоэтажных холодильников.

Расширение предприятия. Оно (если таковое обусловлено заданием на проектирование) обычно осуществляется путем пристройки к зданию первой очереди дополнительного корпуса. В этом случае при разработке планировки должна быть намечена сторона, в которую пойдет будущее расширение с тем, чтобы к этой стороне не примыкали помещения или пристройки. Так, угловое расположение платформ может усложнить такое расширение.

Требования правил техники безопасности, пожарной безопасности и санитарные требования. Эти требования, связанные с объемно-планировочным и конструктивным решением здания и помещений холодильника, регламентируются законами страны и НТД. Здесь можно отметить следующее. Безопасность работы предприятия в определенной степени зависит от правильности выбора площадки для строительства (рельеф местности, свойства грунта, уровень стояния грунтовых вод и др.), ориентировки здания относительно стран света и розы ветров. Предприятия с опасными производственными объектами отделяют от жилой застройки населенных пунктов санитарно-защитной зоной, а на территории таких предприятий между зданиями предусматривают санитарные разрывы.

Несущие и ограждающие конструкции зданий должны быть огнестойкими, исключаящими разрушение здания при пожаре; материал стен, покрытий не должен способствовать распространению огня; площадь камер должна быть по возможности ограниченной, а стены, разделяющие соседние камеры, — огнестойкими.

Таким образом, существует большое число объемно-планировочных решений. Рассмотрим объемно-планировочные решения распространенных типов холодильников.

Холодильник мясокомбината. Он входит в состав главного производственного здания и может быть сблокирован с мясо-жировым и мясоперерабатывающим корпусами или соединяться с ними мостиками. Каркас холодильника состоит из сборных железобетонных или металлических конструкций с сеткой колонн 6×12 м. К холодильнику примыкают автомобильная и железнодорожная платформы шириной не менее 6 м. Платформы оборудуют подвесными путями, устройствами для подъема туш на подвесной путь и опускания с него, весами. Машинное отделение холодильной установки и трансформаторная подстанция могут размещаться в здании холодильника или располагаться в отдельных зданиях.

В состав холодильника входят производственные помещения:

— камеры охлаждения, замораживания, хранения охлажденного и замороженного мяса и мясопродуктов, эндокринно-ферментного сырья, замороженной сыворотки, пищевого топленого жира, соленых кишок;

— приема, замораживания и хранения некондиционных грузов;

— универсальные камеры при экспедиции и вспомогательные помещения: экспедиции, коридоры, тамбуры, вестибюли, весовые, конторы, для санитарной обработки транспортных средств, для зарядки электропогрузчиков, для обогрева рабочих.

Бытовые помещения для рабочих холодильника обычно размещают в общем для рабочих мясокомбината бытовом корпусе.

Режим работы камер холодильника и продолжительность холодильной обработки говяжьих полутуш массой приблизительно 110 кг даны в табл. 2.1.

Производительность камер холодильной обработки традиционно принимают в виде доли от суточной мощности комбината (%): камер охлаждения мяса 30–50% и камер замораживания мяса 70–90%. Вместимость камер хранения мяса составляет в единицах суточной мощности комбината: 1–2 — охлажденного и 20 — замороженного.

Планировка холодильника типового одноэтажного мясокомбината мощностью 30 т мяса в смену приведена на рис. 2.3.

Холодильник граничит с мясожировым и мясоперерабатывающим корпусами. К нему примыкают автомобильная (20) и железнодорожная (21) платформы. Каркас холодильника состоит из сборных железобетонных конструкций с сеткой колонн 6 × 12 м. В здании за пределами охлаждаемого контура находятся машинное отделение (18) со вспомогательными помещениями, трансформаторная подстанция (19).

Парное мясо из мясожирового корпуса подают в холодильник подвесным конвейером, а субпродукты и жир поступают напольным транспортом.

Камеры холодильной обработки оборудованы подвесными конвейерами. Они загружаются и разгружаются с помощью подвесных конвейеров.

Охлажденное мясо, направляемое в мясоперерабатывающий корпус или на грузовые платформы (реализацию), транспортируют с помощью подвесного конвейера по коридору и экспедиции.

Замороженные полутуши мяса снимают с подвесного пути посредством кривой спуска, укладывают на напольный транспорт и перевозят в камеры хранения.

Грузовые платформы оборудованы подвесным конвейером с участком для спуска полутуш, а железнодорожная платформа имеет и роликовый элеватор для подъема полутуш на подвесной конвейер.

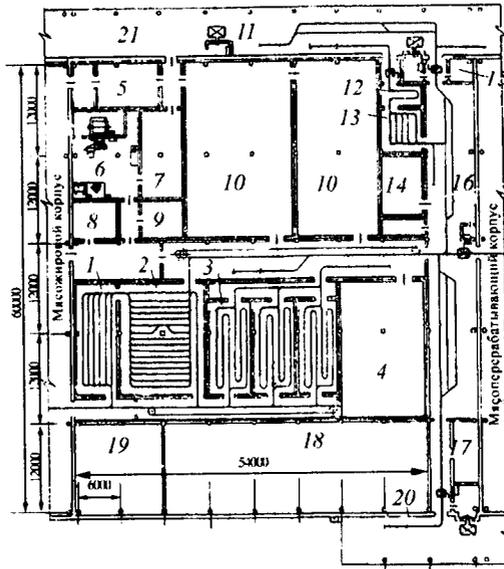


Рис. 2.3. Планировка мясокомбината:

1 — камера охлаждения мяса; 2 — камера хранения охлажденного мяса; 3 — камеры замораживания мяса; 4 — универсальная камера хранения; 5 — камера хранения жира; 6 — помещение для морозильных аппаратов; 7 — камера хранения замороженных блоков; 8 — камера охлаждения субпродуктов; 9 — камера замораживания субпродуктов; 10 — камеры хранения замороженного мяса; 11 — весовая; 12 — камера хранения некондиционных грузов; 13 — камера замораживания некондиционных грузов; 14 — камера хранения замороженных некондиционных грузов; 15 — контора; 16 — экспедиция; 17 — бытовое помещение; 18 — машинное отделение; 19 — трансформаторная подстанция; 20 — автомобильная платформа; 21 — железнодорожная платформа

Таблица 2.1

Камера	$t, ^\circ\text{C}$	$w, \text{м/с}$	$\tau, \text{ч}$
Охлаждения мяса	0	0,5–0,8	24
	–3 ... –4	0,5	16
	–5 ... –7	1,5–2	13
Хранения охлажденного мяса	–2 ... 0	—	—
Замораживания мяса	–30	1	27
	–35	1	23
Хранения замороженного мяса	–20	—	—
Охлаждения субпродуктов	–1 ... 2	0,5	24
Хранения охлажденных субпродуктов	–1 ... 0	—	—
Замораживания субпродуктов	–20	1	24
Замораживания блоков в аппаратах	–30	—	3

Примечание: продолжительность холодильной обработки свинных и бараньих туш составляет 80 и 60% от продолжительности обработки говяжьих полутуш.

Холодильник мясоперерабатывающего завода. Его компонуют на основе тех же принципов, что и холодильник мясокомбината. Он включает охлаждаемые помещения: камеры хранения охлажденных и замороженных мясopодуктов, хранения кишок, замораживания мясopодуктов, поступивших с температурой выше требуемой, а также вспомогательные: экспедицию, весовые, конторы, для зарядки погрузчиков, для обогрева рабочих, машинное отделение трансформаторную подстанцию.

Холодильники молочных предприятий. Они обычно располагаются в общем производственном корпусе завода. Камеры примыкают к производственным помещениям, в которые поступает сырье и из которых выходит в камеры готовая продукция. Вдоль холодильника располагают автомобильную платформу для приемки сырья и отправки продукции.

Емкость холодильника традиционно принимают равной 10–15-сменной мощности завода по переработке молока, в том числе 70–80% вместимости отводится для камер хранения творога и 30–20% — для замороженных сливок.

Распределительные холодильники. Они обычно состоят из одноэтажного здания холодильника и административно-бытового корпуса. Здание холодильника включает охлаждаемый контур, блок вспомогательных помещений, машинное отделение, трансформаторные подстанции. Автомобильная и железнодорожная платформы примыкают к холодильнику. Здание имеет сетку колонн 6 × 12 м, высоту камер от 6 м (от пола до низа балок).

Структура вместимости холодильника определяется ассортиментом хранящихся продуктов и требуемой температурой хранения. Типовые структуры изменяются со временем. В нашей стране принимали следующую структуру вместимости холодильников: камеры хранения замороженных грузов 50–70% с температурой воздуха -20°C ; камеры хранения охлажденных грузов 35–20% с температурой $-3 \dots -4^{\circ}\text{C}$; камер хранения универсальных с температурой -20 или 0°C ; камер замораживания до 1% с температурой -30°C . В настоящее время доля камер хранения замороженных грузов увеличивается за счет уменьшения доли камер хранения охлажденных грузов.

Число камер составляет: хранения замороженных грузов 3–5 площадью до 1000 м², хранения охлажденных грузов 4–5 площадью до 300 м²; универсальных 1–2 площадью до 300 м² и камер замораживания до 3.

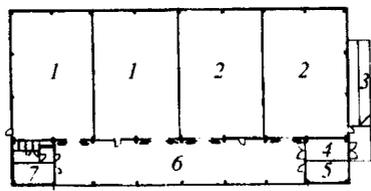


Рис. 2.4. Планировка модульного холодильника вместимостью 1000 т:

1 — камеры хранения замороженных грузов; 2 — камеры универсальные; 3 — пандус; 4 — помещение для погрузчиков; 5 — административное помещение; 6 — автомобильная платформа; 7 — бытовые помещения

Холодильники вместимостью свыше 2000 т обычно имеют 1–2 грузовых коридора, связывающих автомобильную и железнодорожную платформы. Холодильники вместимостью до 2000 т часто оборудуют только автомобильной платформой.

Длина грузовых платформ зависит от грузооборота холодильника. Но для холодильника вместимостью 3000 т и выше длина железнодорожной платформы должна быть не менее 120 м, чтобы обеспечить прием холодильной пятивагонной секции.

Ширина платформ для холодильников вместимостью 3000 т и выше обычно не менее 7,5 м. Высота железнодорожной платформы составляет 1,4 м от уровня головки рельса, автомобильной — 1,2 м от поверхности подъездной площадки. Над открытыми платформами предусматривают навес, перекрывающий ось железнодорожного пути не менее чем на 0,5 м и выступающий за ширину автомобильной платформы не менее чем на 1,5 м.

Как известно, широкое распространение за рубежом получили одноэтажные холодильники модульного типа с высокой степенью заводской готовности, имеющие небольшую вместимость, но являющиеся базой типоразмерного ряда холодильников, например от 1000 до 10 000 т. Планировка такого холодильника вместимостью 1000 т показана на рис. 2.4.

Здание холодильника размерами 24 × 48 м имеет металлический каркас с сеткой колонн, кратной 6 м, опирающихся на бетонный фундамент. Холодильник включает четыре камеры, имеющих выход непосредственно на открытую автомобильную платформу, подсобные и административно-бытовые помещения. Машинное отделение размещается в специализированном контейнере (не показано).

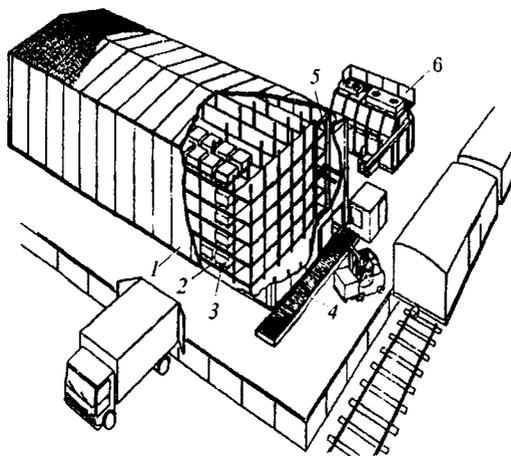


Рис. 2.5. Торговый автоматизированный холодильник:

1 — ограждение из панелей типа сэндвич; 2 — несущая этажерка; 3 — поддоны с грузом; 4 — загрузочно-разгрузочный конвейер; 5 — кран-штабелер; 6 — машинное отделение

Торговый автоматизированный холодильник модульного типа вместимостью 960 поддонов размера 1200×800 мм (стандарта ЕС) представлен на рис. 2.5.

Здание размерами в плане $9,2 \times 32,1$ м имеет несущую металлическую этажерку (2), опирающуюся на бетонный фундамент, к которой крепятся панели типа сэндвич (1). Открытые автомобильная и железнодорожная платформы расположены под углом друг к другу. Внутри охлаждаемого контура находится 5-ярусная этажерка для размещения поддонов (3) с шестью коридорами для движения крана-штабелера (5). Поддоны подаются в охлаждаемый контур и выдаются конвейером (4) через автоматически действующую дверь. Поддоны, хранящиеся на стеллажах, перемещаются с помощью тележек, причем в любом направлении и выводятся из любого места.

Холодильники для фруктов и овощей (фрукто- и овощехранилища) располагают в местах заготовки плодов, ягод, овощей, в центрах потребления и при плодоконсервных заводах.

Заготовительные (в местах заготовки) холодильники размещаются по возможности ближе к местам сбора урожая (в пределах 30 км) или на пересечении дорог, по которым доставляются продукты. Они имеют небольшую вместимость (до 1000 т). Эти холодильники в общем имеют помещения для обработки (калибровки, сортировки и затаривания), предварительного охлаждения и хранения продуктов. Автомо-

бильная платформа с пандусом для въезда автомобилей, вспомогательные и бытовые помещения примыкают к холодильнику. В период массового сбора урожая холодильник в основном обеспечивает предварительное охлаждение плодоовощной продукции перед отправкой в центры потребления на распределительный холодильник. После массового сбора урожая в холодильники закладывают продукцию на длительное хранение. По мере освобождения камер от плодоовощной продукции их используют для хранения других видов продуктов.

Производственные холодильники имеют небольшую вместимость (до 3000 т). Грузовые платформы, вспомогательные и бытовые помещения обычно примыкают к холодильнику. Холодильник содержит помещения для товарной обработки и морозильных аппаратов, камеры охлаждения, хранения охлажденной и замороженной продукции. Такие холодильники хранят запас сырья, удлиняя срок работы предприятия, а также полуфабрикаты и готовую продукцию.

Распределительные (в центрах потребления) холодильники характеризуются относительно большой вместимостью (свыше 3000 т) и наличием помещений для отопления (нагрева с целью исключения конденсации влаги на холодной поверхности продуктов в летнее время), переборки и фасовки плодоовощной продукции перед отправкой ее потребителям, камер хранения продуктов с регулируемой температурой от 2°С до 7°С и относительной влажностью от 70 до 90%, дозревания с регулируемой температурой от 8°С до 20°С и относительной влажностью от 80 до 90%, а возможно и камер хранения с регулируемой газовой средой. Существуют холодильники, включающие камеры хранения только с регулируемой газовой средой.

При определении числа и вместимости камер плодоовощной продукции исходят из необходимости раздельного хранения фруктов и овощей по отдельным видам и сортам или группам сортов в соответствии с их биологическими особенностями: citrusовые, семечковые, виноград, сливы, лук и чеснок и др. В одной камере не хранят фрукты с овощами, плоды с сильным запахом (апельсины, лимоны, мандарины, дыни), совместно с другими овощами, виноград с другими фруктами. При большом ассортименте плодоовощной продукции целесообразно предусматривать камеры относительно небольших размеров, что обеспечивает более гибкое использование холодильника.

На рис. 2.6 представлен план фруктохранилища вместимостью 1600 т, позволяющего охлаждать 80 т грузов в сутки.

Здание холодильника — одноэтажное, из сборных металлических конструкций с сеткой колонн 6 × 24 м, с ограждением из панелей типа сэндвич. Открытая автомобильная платформа (4) имеет пандусы

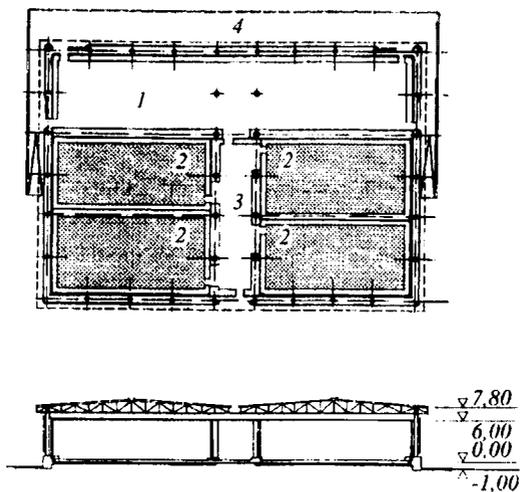


Рис. 2.6. План фруктохранилища вместимостью 1600 т:

1 — помещение для товарной обработки; 2 — камеры хранения; 3 — коридор; 4 — автомобильная платформа

для въезда автотранспорта. Высота камер 6 м. Холодильник размерами 54 × 42 м включает помещение для товарной обработки продукции (1) с температурой 16 – 20°С; четыре камеры хранения (2) с регулируемой температурой от 0 до 12°С с точностью ±1 К и влажностью воздуха от 85 до 97 % с точностью ±2 %; грузовой коридор шириной 6 м и автомобильную платформу шириной 6 м. Машинное отделение и другие вспомогательные помещения расположены в отдельно стоящем здании и на рисунке не показаны.

КОНСТРУКЦИИ ХОЛОДИЛЬНИКОВ

3.1 Конструкции здания и несущие элементы

Холодильники по характеру конструктивных решений относятся к промышленным зданиям. Они могут быть одно- и многоэтажными.

Выбор этажности здания (одноэтажного, многоэтажного, высотного) зависит от схемы технологического процесса, климатических условий, особенностей грунта и рельефа местности, назначения холодильника, его вместимости, цены земли, а в итоге определяется экономической целесообразностью.

Раньше средние и крупные холодильники обычно выполнялись в виде многоэтажного здания высотой до шести этажей. Это позволяло приблизить форму здания к кубу для уменьшения площади наружной поверхности здания и сокращения теплопритоков. Однако в многоэтажных зданиях меньше допустимая нагрузка на пол, небольшая скорость вертикального перемещения грузов (с помощью лифта), а в результате ограничивается оборачиваемость грузов. Многоэтажные холодильники строят в редких случаях, например, при наличии земельного участка малых размеров, высокой цене на землю.

В настоящее время предпочтение отдается одноэтажным холодильникам, поскольку они позволяют достичь высокие экономические показатели за счет лучшего использования охлаждаемого объема и высокой годовой оборачиваемости грузов на холодильнике. Кроме того, у них есть ряд преимуществ перед многоэтажными:

- они более просты по конструкции и их здания легче;
- их можно строить на слабом грунте;
- у них прочный пол, лежащий на грунте;
- есть возможность механизировать грузовые и транспортные работы и т. д.

Увеличение высоты одноэтажного холодильника улучшает использование охлаждаемого объема. Поэтому существуют так называемые высотные холодильники, представляющие собой единую камеру высотой 20 м и более. Они имеют этажерочную (стеллажную) несущую конструкцию, на стеллажах которой складываются поддоны.

Высотные холодильники занимают небольшую площадь земельного участка, имеют здание, по форме приближающееся к кубу, и небольшую площадь поверхности покрытия (30 % поверхности), автоматизирован-

ную систему загрузки-выгрузки с непосредственным доступом к любому поддону. Однако по сравнению с одноэтажными они характеризуются значительно большими капитальными затратами и приблизительно одинаковыми эксплуатационными. Решающим фактором в выборе высотного холодильника может стать высокая цена земли и высокий налог на землю.

Современная строительная технология основана на использовании сравнительно легких металлических (стальных) элементов конструкции холодильников, которые в 5–10 раз легче железобетонных, их проще транспортировать и собирать на месте.

а)



б)



Рис. 3.1. Варианты несущего каркаса холодильника:

- а — внутреннее расположение;
б — внешнее расположение

Типовые конструкции зданий холодильников являются каркасными. Каркас может состоять из железобетонных и (или) металлических несущих на нагрузку элементов. В большинстве случаев каркас состоит из металлических (стальных) конструкций (колонн, балок, ферм) с антикоррозионным покрытием. Нагрузка от покрытия, а возможно и оборудования, передается на каркас, который опирается на бетонный фундамент. Ограждающие конструкции (стены) являются самонесущими.

Металлический каркас может быть внутренним, т. е. располагаться внутри теплоизоляционных ограждений (рис. 3.1,а) или наружным, т. е. располагаться снаружи ограждений, (рис. 3.1,б).

При наружном расположении каркаса здания исключается прохождение ферм и прогонов через помещения с различными температурами, вследствие чего устраняются тепловые мостики. Отпадает необходимость в тепло- и гидроизоляции кровельных панелей и защите от солнечных лучей. Укладка кровельного настила после монтажа каркаса здания позволяет вести сборку ограждения независимо от погодных условий. Однако размеры здания и капитальные затраты на него будут больше, чем при внутреннем расположении каркаса.

Холодильники с наружным несущим каркасом чаще возводят в южных климатических зонах с высокими температурой воздуха и интенсивностью солнечной радиации.

Фундаменты воспринимают нагрузку от конструкций здания, груза, оборудования и передают ее на грунт. Они могут быть ленточные, отдельно стоящие и сплошные плитные. Ленточные фундаменты состоят из бетонных блоков, заложенных по периметру наружных стен. Отдель-

но стоящие фундаменты — железобетонные блоки, заложенные под колонны. Сплошные плитные фундаменты — это монолитные железобетонные конструкции, применяемые для холодильников небольших размеров.

Наименьшая глубина заложения фундамента 0,5 м от поверхности участка застройки, а на пучинистых грунтах (глинистых, суглинистых, мелкопесчаных и пылеватых) глубина заложения должна быть ниже глубины промерзания грунта в данной местности.

3.2 Изоляционные конструкции холодильников

Изоляционная (теплоизоляционная) конструкция — это ограждение охлаждаемых объектов. Ограждения холодильников, выполняемые по старой технологии из традиционных материалов (бетона, кирпича, натурального камня), являются многослойными. Они состоят из двух основных слоев: наружного, являющегося несущим и защитным, и внутреннего, выполненного из теплоизоляционного материала.

Теплоизоляционный материал, как правило, защищен с наружной стороны (точнее с более теплой) пароизоляционным слоем. Возможны и вспомогательные слои, например, цементной штукатурки для выравнивания поверхности кирпичной кладки, отделочный слой для защиты поверхности теплоизоляционного слоя от повреждения или повышения его огнестойкости.

Современные здания холодильников с металлическим каркасом имеют ограждающие конструкции из панелей типа «сэндвич». Применение таких панелей способствует снижению тепло- и массообмена охлаждаемого помещения с окружающей средой и облегчает поддержание температурно-влажностного режима работы помещения. Ограждения из таких панелей, изготовленных на заводе, в 15–30 раз легче стены из традиционных материалов по старой технологии, что позволяет уменьшить массу несущих конструкций, увеличить размеры сетки колонн здания, уменьшить расход материала и объем строительных работ.

Анализ показывает, что строительство холодильников из сборных металлических конструкций с высокой степенью готовности позволяет в 4–5 раз снизить общую массу здания, сократить в 2–3 раза трудозатраты и в 3–4 раза сроки строительства.

Строительство полносборных холодильников сокращается в 4 и более раз по сравнению с традиционными.

Важным элементом изоляционной конструкции является изоляция.

3.3 Назначение изоляции охлаждаемых помещений

Особенность ограждающих конструкций холодильников — наличие в их составе теплоизоляционного материала. Дело в том, что в охлаждаемых помещениях температура воздуха $t_{\text{пм}}$ ниже температуры наружного воздуха $t_{\text{н}}$. Разность температур $\Delta t = t_{\text{н}} - t_{\text{пм}}$ обуславливает появление теплового потока плотностью

$$q = k_{\text{н}}(t_{\text{н}} - t_{\text{пм}}) = (t_{\text{н}} - t_{\text{пм}})/R_{\text{н}}, \quad (3.1)$$

где $R_{\text{н}}$ — термическое сопротивление наружного ограждения, $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$.

Кроме того, более теплый наружный воздух имеет большую концентрацию водяного пара (или парциальное давление), чем воздух в помещении. Наличие разности парциальных давлений вызывает поток водяного пара, который диффундирует через ограждение (рис. 3.2) в охлаждаемое помещение плотностью

$$\omega = (p_{\text{н}} - p_{\text{пм}})/H_{\text{н}}, \quad (3.2)$$

где ω — плотность потока влаги, $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$; $H_{\text{н}}$ — сопротивление ограждения паропрооницанию, $\text{м}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{Па}/\text{кг}$.

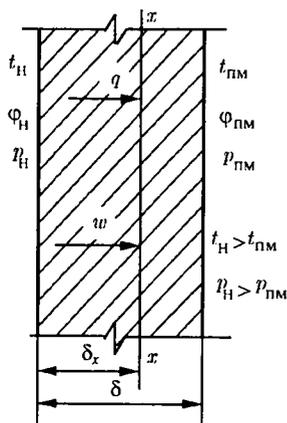


Рис. 3.2. Элемент однородного ограждения

Поступление в охлаждаемое помещение теплоты и влаги приводит к нежелательному увеличению тепловой нагрузки на охлаждающие помещения устройства и испарение влаги с поверхности неупакованных продуктов. При наличии разностей температур и парциальных давлений полностью исключить потоки теплоты и водяного пара невозможно, так как это потребовало бы выполнения ограждения с бесконечно большими сопротивлениями теплопередаче и паропрооницанию. Но уменьшить их следует, увеличивая в рациональных пределах сопротивления.

Эта задача решается с помощью изоляции — слоя материала, входящего в состав конструкции ограждения охлаждаемых помещений, который имеет значительное сопротивление прохождению теплоты и влаги, что существенно уменьшает их проникновение через ограждение.

Значение тепловой изоляции состоит еще и в том, что она позволяет приблизить температуру внутренней поверхности ограждения к темпе-

ратуре воздуха в помещении. Сокращение этой разности температур целесообразно, поскольку способствует установлению одинаковой температуры воздуха в помещении и исключает конденсацию влаги из воздуха на холодной поверхности.

3.4 Свойства теплоизоляционных материалов

Теплоизоляционные материалы должны иметь свойства и их показатели, соответствующие стандартам. Показателями свойств этих материалов являются, например, теплопроводность, плотность, водопоглощение, влажность, предельная температура применения, термическая стойкость, морозостойкость и др. Кроме того, материалы должны быть по возможности менее горючими, инертными по отношению к конструкционным материалам, не выделять и не воспринимать запах, не привлекать грызунов, не выделять пыли и токсичных веществ в количествах, превышающих ПДК, иметь стабильные физико-механические и тепло-технические свойства.

Основными свойствами теплоизоляционного материала являются теплопроводность λ и плотность ρ , которые в определенной степени взаимосвязаны. Эта связь объясняется тем, что теплоизоляционный материал имеет пористую структуру: твердый каркас (матрицу) и поры (полости), заполненные воздухом или другим газом. Благодаря пористой структуре теплопроводность материала определяется значениями последней для воздуха (или газа), обладающего низкой теплопроводностью, и вещества каркаса, имеющего высокую теплопроводность. Например, при температуре 25 °С неподвижный сухой воздух имеет $\lambda = 0,023$ Вт/(м · К), R141b — $\lambda = 0,01$ Вт/(м · К), циклопентан — $\lambda = 0,012$ Вт/(м · К), CO₂ — $\lambda = 0,018$ Вт/(м · К). Теплопроводность каркаса находится в диапазоне 2–6 Вт/(м · К) для природных материалов и растительных волокон и до 11–419 Вт/(м · К) для металлов. Теплопроводность распространенных теплоизоляционных материалов находится в пределах 0,018–0,06 Вт/(м · К).

Следует заметить, что в пористых телах теплота передается тремя способами: конвекцией, теплопроводностью и излучением, доля каждой составляющей зависит от структуры материала и температуры. Например, для пенополиуретана плотностью 30–40 кг/м³ при температуре 25 °С эти доли составляют: 0,5 конвекцией, 0,3 теплопроводностью и 0,2 излучением.

Теплопроводность теплоизоляционных материалов зависит от температуры $\lambda = \lambda_0(1 + bt)$ и влажности $\lambda = \lambda_c + \alpha w$, где b — коэффициент, равный $b = (2 - 4) \cdot 10^{-3}$; λ_0 — теплопроводность при 0 °С; λ_c тепло-

проводность сухого материала; c — коэффициент, равный для органических материалов при низких температурах $c = 4 \cdot 10^{-3}$; ω — объемная влажность, %, равная $\omega = (m - m_0)100/(V\rho_w)$, m — масса влажного образца материала; m_0 — масса сухого образца материала; V — объем образца материала; ρ_w — плотность воды. Увеличение теплопроводности увлажненных материалов связано с тем, что вода, имея теплопроводность приблизительно в 25 больше теплопроводности неподвижного воздуха, занимает часть объема пор (полостей), вытесняя из них воздух (газ).

Выбор вида теплоизоляционного материала зависит от условий эксплуатации. Так, для работы при положительной температуре применяют материал с показателями: $\rho \leq 400 \text{ кг/м}^3$ и $\lambda < 0,07 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$ при 25°C , а при отрицательной температуре — $\rho \leq 200 \text{ кг/м}^3$ и $\lambda < 0,06 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$ при 25°C .

В соответствии с государственным стандартом теплоизоляционные материалы и изделия подразделяют по следующим признакам: по виду основного исходного сырья (органические, неорганические); структуре (волокнистые, ячеистые, зернистые); форме (рыхлые, плоские, фасонные); горючести (несгораемые, трудносгораемые, сгораемые); содержанию связующего вещества (содержащие, не содержащие).

Существует большое число теплоизоляционных материалов, обладающих в той или иной степени совокупностью желательных свойств, но идеальных пока нет. Поэтому при выборе материала учитывают совокупность свойств и условия эксплуатации объекта, подлежащего теплоизоляции.

В настоящее время в отечественном промышленном строительстве широко используют теплоизоляционные изделия из неорганических искусственных материалов. Это изделия из искусственных волокон толщиной 10–30 мкм: минеральной и стеклянной ваты, в виде плит и фасонных изделий, пропитанных битумом или синтетическим связующим для придания им прочности. Достоинствами таких материалов являются: низкая стоимость; высокая предельная рабочая температура; незначительная гигроскопичность. Они трудносгораемые, химически и биологически стойкие, непроницаемы для грызунов. Однако их применение для изоляции оборудования и трубопроводов, находящихся в помещениях, где производятся пищевые продукты, не допускается.

В зарубежной практике в промышленном строительстве используют в основном изделия (плиты, сегменты, скорлупы) из органических искусственных материалов, на основе синтетических пластмасс (полистирола, полиуретана, поливинилхлорида, полиэтилена и др.).

Наибольшее распространение получили изделия из пенополиуретана. Пенополиуретан имеет самые высокие показатели основных свойств среди изоляционных материалов (табл. 3.1), применяемых в промышленности. Он имеет жесткую структуру с закрытыми ячейками, относительно высокую механическую прочность, низкие показатели гигроскопичности и водопоглощения. Он сгораемый, но трудновоспламеняемый, химически и биологически стойкий, легко обрабатывается. Кроме того, он обладает широкими технологическими возможностями применения. Например, теплоизоляционный слой можно получать на месте монтажа путем заливки композиции, содержащей и полиуретан, в изолируемую полость или напыления композиции на изолируемую поверхность. После затвердевания пены образуется бесшовный слой изоляции.

Изделия из пенополистирола применяют в промышленном строительстве. Пенополистирол имеет хорошие показатели основных свойств (табл. 3.1). Это достаточно жесткий материал с закрытыми порами, имеющий малую гигроскопичность, незначительное водопоглощение, сгораемый, но самозатухающий.

Изделия из вспененного полиэтилена (пенополиэтилена) имеют закрытые ячейки, они эластичны. Их используют для изоляции плоских поверхностей. Пенополиэтилен характеризуется незначительной гигроскопичностью и водопоглощением, химической и биологической стойкостью. Он имеет хорошие теплоизоляционные свойства (табл. 3.1).

Изделия из вспененной резины (пенорезина), полученной на основе синтетического каучука, в виде эластичных пластин небольшой толщины и цилиндров применяют для изоляции аппаратов, трубопроводов и воздухопроводов. Этот теплоизоляционный материал имеет закрытые поры. Изделия из него имеют хорошие показатели (табл. 3.1).

Асбовемикулитовые изделия применяют для устройства противопожарных поясов холодильников. Они имеют жесткую волокнисто-ячеистую структуру и свойства теплоизоляционного материала (табл. 3.1). Это прочный гидрофобный, несгораемый материал, выдерживающий длительное воздействие открытого пламени.

3.5 Свойства паро- и гидроизоляционных материалов

Как известно, наличие разности парциальных давлений водяного пара, содержащегося в окружающей среде и в охлаждаемом помещении, вызывает поток пара через ограждение. Кроме того, возможно поступление влаги в ограждение из грунта и атмосферных осадков. Поэтому теплоизоляционные материалы, способные поглощать влагу, требуют защиты. Защита от проникновения паробразной и капельной влаги

Таблица 3.1

Материал	ρ , кг/м ³	λ^* , Вт/(м · К)	$t_{\text{раб}}$, °С
Пенополиуретан	30–60	0,041–0,047	–180... 120
То же, наполненный циклопентаном	40	0,021–0,033	–60... 100
Пенополистирол ПСБ-С	30–40	0,047–0,052	–180... 70
Плиты из минеральной ваты на синтетическом связующем	50–125	0,052–0,058	–180... 400
Пенополиэтилен	35–40	0,035	–80... 95
Пенорезина	40	0,036	–40... 105
Асбовемикулит	250	0,081–0,087	—

* Расчетное значение.

выполняется материалами, одновременно являющимися паро- и гидроизоляционными.

Эти материалы характеризуются такими показателями, как водопоглощение, водонепроницаемость, температура размягчения, температуроустойчивость и др., значения которых должны соответствовать стандартам. Кроме того, они должны отвечать следующим требованиям:

1. Иметь высокое сопротивление паропроницанию, что характеризуется малым коэффициентом паропроницаемости материала. Массовый поток влаги, проникающий через однородное ограждение,

$$W = F(p_{\text{н}} - p_{\text{нм}})\mu/\delta, \quad (3.3)$$

где μ — коэффициент паропроницаемости материала, кг/(м·с·Па); δ — толщина ограждения.

Коэффициент μ представляет собой массу водяного пара (кг), проникающую за время в 1 с через площадь поверхности 1 м² ограждения толщиной в 1 м при разности парциальных давлений пара по сторонам ограждения в 1 Па. Для пароизоляционных материалов он имеет значение порядка $1 \cdot 10^{-12}$ кг/(м·с·Па). Сопротивление паропроницанию слоя однородного материала (м²·с·Па/кг) определяется выражением $H = \mu/\delta$.

2. Быть температуроустойчивыми, т. е. не быть хрупкими при низких температурах и не размягчаться при температурах, соответствующих верхней границе рабочего температурного интервала.

3. Обладать стабильными физико-механическими показателями.

4. Быть биостойкими и технологичными (удобноносимыми) при монтаже.

5. Не иметь запаха.

6. Не выделять вредных веществ в количествах, превышающих ПДК.

Пароизоляционные материалы подразделяют на две группы: мастичные, применяемые в жидком состоянии, и рулонные, выпускаемые в рулонах. А в зависимости от назначения различают кровельные и гидроизоляционные материалы.

Основой большинства пароизоляционных материалов является нефтяной битум, который может быть строительным, предназначенным для строительных работ в различных отраслях промышленности; кровельным, предназначенным для пропитки и получения кровельного материала; изоляционным, предназначенным для изоляции трубопроводов от грунтовой коррозии.

Битумы нефтяные строительные, обозначаемые буквами БН, выпускаются нескольких марок. Различаются они главным образом по температуре размягчения, и вязкости, а точнее пенетрации (проникновению иглы с грузом в течение 5 мин при температуре битума 25°C). Битумы, имеющие температуру размягчения до 50°C, называются легкоплавкими, а выше 50°C — тугоплавкими. В холодильном строительстве применяют тугоплавкие нефтяные битумы, например БН 50/50, БН 70/30 (цифры означают — температура размягчения/пенетрация), имеющие теплопроводность 0,30–0,35 Вт/(м·К) и плотность 1000 кг/м³.

Нефтяные строительные битумы растрескиваются при относительно низких температурах. Поэтому часто применяют битумные мастики, представляющие собой смесь битума с наполнителями, придающими мастикам эластичность при низких температурах. Их классифицируют по разным признакам:

— назначению (кровельные, паро- и гидроизоляционные, изоляционные от коррозии);

— виду основных компонентов (битумные, битумно-резиновые, битумно-полимерные, битумно-эмульсионные, битумно-полимерные эмульсионные и др.);

— по способу применения (горячие — с подогревом перед применением и холодные, содержащие растворитель и эмульсионные) и др.

Горячие мастики применяют в качестве обмазочной пароизоляции, приклеивающего слоя для гидроизоляции из битумных рулонных материалов, а также для покрытия кровель по беспокровным рулонным материалам.

Таблица 3.2

Материал	Коэффициент паропроницаемости, $\mu \cdot 10^{12}$, кг/(м·с·Па)
Бетон	8,4
Кирпичная кладка	29,3
Цементная штукатурка	20,9
Пенополистирол	13,6
Пенополиуретан	6,3
Битум	0,24
Рубероид	0,38
Полиэтиленовая пленка	0,006

Из холодных мастик применяют битумно-эмульсионные, которые пожаробезопасны и технологичны в работе, так как полученный пароизоляционный слой имеет более высокие эксплуатационные свойства и затраты в 5–10 раз меньше по сравнению с горячими мастиками. Битумная эмульсия представляет собой мелкодисперсные частицы битума (размером 5 мкм), находящиеся в воде во взвешенном состоянии. Эмульсию наносят на поверхность разбрызгиванием из пульверизатора. После испарения воды частицы битума слипаются, образуя пленку. После высыхания первого слоя можно наносить следующий (до трех-четырёх слоев).

К рулонным пароизоляционным материалам относятся различные материалы, которые подразделяются по виду вяжущего вещества, основы, наличию или отсутствию кровного слоя на группы. Распространенными рулонными материалами являются: *рубериод* — кровельный картон, пропитанный легкоплавким битумом и покрытый с одной или с двух сторон слоем тугоплавкого битума; *гидроизол* — асбестовый картон, пропитанный битумом; *стеклорубериод* — стекловолнистая ткань, покрытая битумом; *фольгоизол* — рифленая алюминиевая фольга толщиной 0,06–0,1 мм покрытая с одной стороны битумно-резиновым составом; *изол* — безосновный материал, изготовленный прокатыванием через вальцы смеси битумов с наполнителями.

Для пароизоляции применяются и полимерные пленочные материалы, например, полиэтиленовые и поливинилхлоридные пленки (толщиной 0,15–0,5 мм). Средством защиты изоляции от увлажнения является облицовка поверхности стен глазурованными плитками и листовым металлом (некорродирующая сталь, сплав алюминия).

Коэффициенты паропроницаемости некоторых строительных, тепло- и пароизоляционных материалов приведены в табл. 3.2.

3.6 Увлажнение теплоизоляции в ограждающих конструкциях

Большинство теплоизоляционных материалов имеет капиллярно-пористую структуру, которой свойственны взаимодействия с влагой. Связь эта может быть различной по соотношению между количеством сухого материала и влаги.

Формы физико-механической связи менее прочные и им соответствуют неопределенные соотношения между количествами сухого материала и поглощенной воды, которые, однако, могут иметь предельные значения. Поглощение влаги при таких формах связи происходит при непосредственном соприкосновении материала с капельной влагой. Влагой при физико-механической связи являются капиллярная влага, перемещающаяся в микро- (менее 0,1 мкм) и в макрокапиллярах (более 0,1 мкм), а также влага смачивания, удерживаемая в порах материалов в результате прилипания воды к стенкам оболочек пор. Обе формы физико-механической связи вызваны наличием поверхностного натяжения у жидкостей.

Каждому виду связи влаги с материалом соответствует определенное содержание влаги. При поступлении большого количества влаги в материал появляется вода, не имеющая никакой связи с материалом — физически свободная, которая носит название гравитационной влаги, так как она перемещается в материале под действием сил тяжести и, следовательно, только в одном направлении.

Количество водяного пара, которое может сорбировать (поглощать) тот или иной материал, характеризует его гигроскопичность. Этой способностью разные материалы обладают в различной степени.

Если сухой материал находится некоторое время в атмосфере влажного воздуха, то он адсорбирует из воздуха водяной пар в совершенно определенном (для данного материала) количестве, зависящем от состояния воздуха. Видимое поглощение пара из воздуха прекращается при достижении подвижного равновесия между влажным воздухом и влажным материалом.

При равновесии давление насыщенного пара над поверхностью водяной пленки в материале оказывается равным парциальному давлению водяного пара в окружающем влажном воздухе. Содержание влаги в материале в состоянии равновесия приобретает некоторое постоянное значение, называемое равновесной гигроскопической влажностью или рав-

новесной влажностью материала. Материалы, имеющие значительную равновесную влажность, называются гигроскопичными.

Так как материалы находятся в атмосфере влажного воздуха, то гигроскопичные материалы всегда оказываются влажными, т. е. содержат влагу в количестве, определяемом значением равновесной влажности (воздушно-сухой материал). Материал, который содержит влагу в количестве, превышающем равновесную влажность, соответствующую данным условиям называют увлажненным. С явлением увлажнения теплоизоляционного материала можно и нужно бороться.

Максимальное количество влаги, которое может содержать материал, обычно значительно выше максимальной гигроскопической влажности и определяется значением влагопоглощения, зависящим от структуры оболочек материала (пор, капилляров) и от смачиваемости жидкостью его частиц (прилипания). Чаще всего увлажнение материалов в изоляционных конструкциях ограждений, т. е. появление связанной воды, начинается с конденсации внутри ограждения водяного пара, диффундирующего через ограждение под действием разности парциальных давлений.

Конденсация пара происходит тогда, когда перегретый пар на пути движения встречает слои ограждения с температурой, при которой пар становится насыщенным.

Возможность конденсации влаги в ограждении может быть определена расчетным путем. Для решения задачи сначала следует установить характер изменения температуры и парциального давления пара внутри ограждения.

Температура в любом сечении $x-x$ (рис. 3.2) ограждения может быть найдена из условия стационарности теплового потока

$$q = (t_n - t_{nm})/R_n = (t_n - t_x)/R_x, \quad (3.4)$$

где R_x — термическое сопротивление ограждения на пути теплового потока до сечения $x-x$.

Тогда

$$t_x = t_n - (t_n - t_{nm})R_x/R_n$$

или

$$t_x = t_n - qR_x. \quad (3.5)$$

Подобно этому условие стационарности потока влаги будет

$$w = (p_n - p_{nm})/H_n = (p_n - p_x)/H_x, \quad (3.6)$$

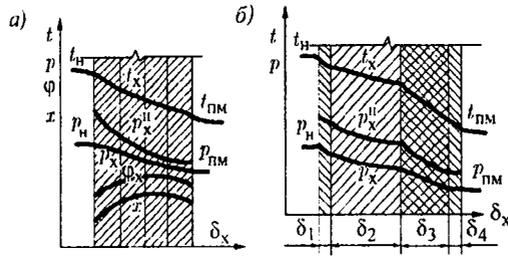


Рис. 3.3. Изменение температуры и давления пара в ограждениях:

а — однородном; б — неоднородном

где H_x — сопротивление паропроницанию ограждения на участке до сечения $x-x$.

Отсюда парциальное давление пара в сечении $x-x$

$$p_x = p_H - (p_H - p_{пм})H_x / H_H$$

или

$$p_x = p_H - wH_x. \tag{3.7}$$

Уравнение (3.7) показывает, что при прохождении водяного пара через ограждение его парциальное давление понижается от p_H до p_x в результате преодоления сопротивления паропроницанию слоев ограждения. Если пренебречь сопротивлением влагоперехода от воздуха к поверхности ограждения, имея ввиду его небольшое значение, то для однородной стенки уравнение может быть написано так:

$$p_x = p_H - w\delta_x / \mu. \tag{3.8}$$

Пренебрежение сопротивлением влагопереходу позволяет принимать парциальное давление пара на наружной поверхности ограждения равным давлению пара в воздухе, соприкасающемся с данной поверхностью, т. е. p_H .

Из последнего уравнения следует, что падение парциального давления пара в однородном ограждении происходит по линейному закону (прямая линия в координатах $p-\delta$). Кроме того, видно что падение давления происходит интенсивнее при прохождении потока большего значения в материалах, обладающих меньшим коэффициентом паропроницаемости.

Знание температуры t_x в слое $x-x$ позволяет определить температуру в каждом слое ограждения, а по этим значениям температур могут быть найдены соответствующие им давления насыщенного водяно-

го пара в слоях ограждения, что при известном значении парциального давления пара p_x позволяет найти влажность воздуха в этом слое $\varphi_x = p_x/p''_x$ и соответствующую равновесную влажность материала. Результаты расчета могут быть показаны на графиках в координатах $t-\delta$ и $p-\delta$. Изменение давления насыщенного пара будет соответствовать логарифмическому закону связи между давлением и температурой насыщенного пара.

При построении такой диаграммы могут встретиться два случая. Первый случай изображен на рис. 3.3,а для однородного ограждения и на рис. 3.3,б — для неоднородного. Его особенность заключается в том, что линия парциального давления p_x проходит ниже линии p''_x и нигде с ней не пересекается. Это значит, что водяной пар в ограждении нигде не становится насыщенным и, следовательно, конденсации влаги в ограждении не происходит, а значит материал не увлажняется. Линия $\varphi_x = f(\delta)$ имеет максимум там, где больше всего сближаются линии p_x и p''_x . Характерно то, что максимум влажности воздуха и, следовательно, влажности (например, массовой — x) материала оказывается вблизи от холодной поверхности ограждения, но не у самой холодной поверхности.

Такое же построение может быть выполнено и для неоднородного ограждения, состоящего из нескольких материалов с различным паропроницанием. В многослойном ограждении парциальное давление пара в различных слоях падает с неодинаковой скоростью, вследствие чего в плоскостях соприкосновения слоев различных материалов прямые $p_x = f(\delta_x)$ получают переломы, образуя ломаную линию (см. линию $t_x = f(\delta_x)$).

Особенность второго случая — пересечение линий p_x и p''_x (рис. 3.4,а), т. е. на некоторых участках ограждения пар, диффундирующий через ограждение, становится насыщенным, что вызывает его частичную конденсацию внутри ограждения.

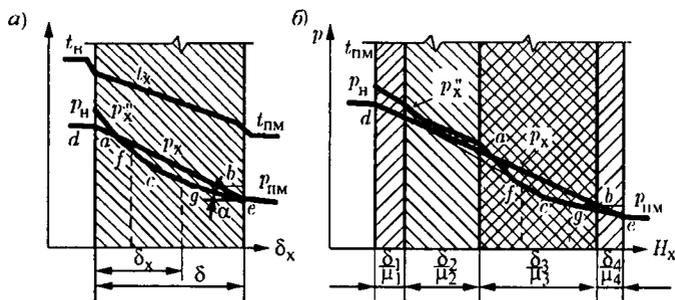


Рис. 3.4. Определение зоны конденсации влаги в ограждении:

а — однородном; б — неоднородном

Участок ограждения, где конденсируется пар, называется зоной конденсации. Было бы неверно считать зоной конденсации участок $a-b$ между точками пересечения линий p_x и p_x'' прежде всего потому, что отрезок ab прямой de теперь неправильно характеризует давление пара. Дело в том, что пар не может иметь давление выше, чем давление насыщенного пара того же вещества при той же температуре. Это значит, что в зоне конденсации пар должен иметь давление, равное давлению насыщенного пара, т. е. иметь свое состояние по линии acb . Линия $dacbe$ не может быть графиком изменения давления пара в однородном ограждении, так как в точках a и b появились резкие изменения линий (переломы), что характерно только для неоднородных (многослойных) ограждений. Поскольку плавный переход от прямой линии к кривой может быть осуществлен только по касательной, то действительным графиком падения давления пара в ограждении может быть линия $dfcge$, которая состоит из отрезков касательных df и ge , проведенных из точек d и e к линии $p_x'' = f(\delta_x)$, и участка fcg самой линии $p_x'' = f(\delta_x)$ между точками касаний f и g . Последний участок ограждения $fecg$ и является действительной зоной конденсации.

Графический метод нахождения зоны конденсации прост и нагляден, но может быть недостаточно точным. Более точно границы зоны конденсации можно определить аналитическим методом.

Образовавшаяся зона конденсации оказывается очагом дальнейшего увлажнения материала ограждения. Появившаяся капельная влага начинает распространяться по капиллярам и порам материала, охватывая все большую площадь ограждения. Хотя суточное количество поступающей влаги невелико, этот процесс может происходить почти непрерывно в течение многих лет эксплуатации. Со временем появляется гравитационная влага, которая под действием силы тяжести начинает перемещаться в нижерасположенную часть ограждения.

Борьба с образованием зоны конденсации должна вестись путем уменьшения потока влаги через ограждение, что достигается увеличением сопротивления ограждения паропроницанию. Для этого в ограждении предусматривают пароизоляционный слой, представляющий значительное сопротивление паропроницанию. Однако далеко небезразлично, где ставить этот парозащитный слой: до зоны конденсации или после нее, хотя в обоих случаях произойдет одинаковое уменьшение потока влаги.

Опыт показывает, что пароизоляционный слой только тогда может привести к уменьшению или устранению зоны конденсации, когда он расположен перед слоем возможного образования зоны конденсации, т. е. с теплой стороны этого слоя. Причем пароизоляционный слой

должен не раздробляться, а весь сосредотачиваться с теплой стороны ограждения.

В многослойных ограждениях совершенно не безразличен порядок расположения слоев из разных материалов. Очевидно, что материалы в ограждении должны располагаться по ходу потока влаги в порядке возрастания коэффициента паропроницаемости. При обратной последовательности каждый последующий слой может оказаться пароизоляционным слоем с холодной стороны для предыдущего слоя.

Требуемое полное сопротивление паропроницанию для ограждающих конструкций разного вида нормируется и указывается в НТД.

В реальных условиях эксплуатации холодильных сооружений рассмотренный вопрос существенно усложняется из-за изменения температуры наружного воздуха от самых высоких для данной местности летних температур до самых низких зимних. В зимнее время возможны случаи (при температурах наружного воздуха ниже температуры в охлаждаемом помещении), когда поток влаги будет иметь обратное направление, т. е. из помещения наружу. Однако такое изменение направления потока влаги может иметь значение только для помещений с относительно высокими температурами и в местностях с относительно низкими среднемесячными температурами наружного воздуха зимой. Для таких помещений, у которых обратный поток влаги в зимнее время достаточно заметен, необходимо ставить пароизоляцию с обеих сторон теплоизоляции, т. е. с теплой и с холодной сторон.

Радикально решается этот вопрос при выполнении ограждений из теплоизолированных панелей типа сэндвич, в которых теплоизоляционный материал находится между металлическими листами.

Хотя диффузионный поток водяного пара и является обычно главной причиной увлажнения, надо иметь в виду, что он не единственный возможный источник увлажнения. Теплоизоляционные материалы приходится охранять от непосредственного соприкосновения с проводниками капиллярной влаги: влажным грунтом, влажным земляным покровом на плоской кровле, наружными стенами, увлажняемыми атмосферными осадками. Иногда увлажнение изоляционных материалов происходит от различного рода дефектов строительных конструкций, от протечек в кровлях, от неисправных водосточных желобов, от трещин в стенах и т. п. Все это вынуждает делать пароизоляцию с теплой стороны даже тогда, когда расчетом доказывается невозможность появления зоны конденсации. В таком случае предусматривается минимальный возможный слой паро- и гидрозащиты. Кроме случая, рассмотренного выше, пароизоляционный слой с холодной стороны следует предусматривать и

в помещениях с большими влаговыделениями, приводящими к осажде-нию или попаданию капельной влаги на ограждения.

3.7 Основные требования и виды теплоизоляционных конструкций

Требования, предъявляемые к теплоизоляционным конструкциям. Теплоизоляционная конструкция должна отвечать требованиям, изложенным в НТД, в частности: иметь нормированные значения характеристик; иметь непрерывные паро- и теплоизоляционные слои; не иметь тепловых мостиков; не увлажняться; отвечать требованиям правил пожарной безопасности.

Толщина теплоизоляционного слоя, являющаяся важной характеристикой ограждения, определяется на основании одного из следующих условий: по нормированному термическому сопротивлению; по нормированной разности температур между внутренней поверхностью и воздухом в камере; предотвращения конденсации влаги из окружающего воздуха на поверхности ограждения при расчетных значениях температуры и относительной влажности окружающего воздуха.

Нормированные значения термического сопротивления $R_{нор}$ обычно определяют путем оптимизации по экономическому критерию, например сумме приведенных затрат, которые приводят в НТД.

Толщина теплоизоляционного слоя многослойного ограждения с учетом нормированного значения $R_{нор}$ определяется по формуле

$$\delta_{из} = \lambda_{из}[R_{нор} - (R_{нн} + \sum R_i + R_{пм})], \quad (3.9)$$

где $R_{нн} = 1/\alpha_{нн}$ — термическое сопротивление теплопередачи от воздуха к наружной поверхности ограждения; $\alpha_{нн}$ — коэффициент теплоотдачи от воздуха к наружной поверхности; $\sum R_i = \sum \delta_i/\lambda_i$ — сумма термических сопротивлений i -х слоев ограждения кроме теплоизоляционного; $R_{пм} = 1/\alpha_{пм}$ — термическое сопротивление теплопередачи от внутренней поверхности ограждения к воздуху помещения; $\alpha_{пм}$ — коэффициент теплоотдачи от внутренней поверхности к воздуху помещения.

Толщина теплоизоляционного слоя многослойного ограждения с учетом нормированного значения $\Delta t_{нор}$ определяется по уравнению

$$\delta_{из} = \lambda_{из}[R_{пм}(t_{нн} - t_{пм})/\Delta t_{нор} - (R_{внн} + \sum R_i + R_{пм})]. \quad (3.10)$$

По условию недопущения конденсации пара на поверхности, обращенной в теплое помещение, обычно определяют $\delta_{из}$ внутренних ограждений (перегородок, междуэтажных перекрытий), а также ограждений

камер с отрицательными температурами при летних расчетных условиях и ограждений камер с положительными температурами при зимних расчетных условиях. Чтобы не допустить конденсацию водяного пара из воздуха на поверхности ограждения, разделяющего два помещения с более теплой t_T и более холодной t_X температурами, надо, чтобы температура поверхности с теплой стороны $t_{Т.п}$ была выше температуры точки росы t_p воздуха в теплом помещении при расчетных значениях температуры и влажности. Тогда из теплового баланса получим уравнение

$$\delta_{из} = \lambda_{из} [R_T(t_T - t_X)/(t_T - t_p) - (R_T + \sum R_i + R_x)], \quad (3.11)$$

где $R_T = 1/\alpha_T$ — термическое сопротивление теплопередачи от воздуха к теплой поверхности ограждения; α_T — коэффициент теплоотдачи с теплой стороны; $R_x = 1/\alpha_x$ — термическое сопротивление теплопередачи от поверхности холодной стороны к воздуху; α_x — коэффициент теплоотдачи с холодной стороны.

Действительная толщина теплоизоляционного слоя при применении штучных материалов определяется округлением найденного размера до значения, кратного стандартной толщине выпускаемых изделий. Теплоизоляционный слой следует выполнять по меньшей мере из двух слоев стандартных изделий для того, чтобы можно было перекрыть швы (стыки) первого слоя изделиями второго слоя и повысить качество теплоизоляции.

Толщина пароизоляционного слоя многослойного ограждения с учетом нормированного значения $H_{нор}$ определяется по формуле

$$\delta_{пи} = \mu_{пи}(H_{нор} - \sum H_i), \quad (3.12)$$

где $\mu_{пи}$ — коэффициент паропроницаемости пароизоляционного слоя; $\sum H_i = \sum \delta_i/\mu_i$ — сумма сопротивлений паропроницанию i -х слоев ограждения кроме пароизоляционного слоя.

При наличии одиночного охлаждаемого помещения непрерывность тепло- и пароизоляционных слоев по всей поверхности охлаждаемого контура здания достигается относительно просто — путем укладки изоляции по внутренней поверхности ограждений. Чтобы обеспечить непрерывность изоляции при большом числе охлаждаемых помещений и в многоэтажных зданиях, приходится использовать специальные строительные конструкции.

При обычных строительных конструкциях промышленных многоэтажных зданий непрерывность изоляционного слоя будет нарушаться междуэтажными перекрытиями и внутренними стенками. В этом случае

в изолированном ограждении образуются места с меньшим термическим сопротивлением. Такие места называются тепловыми мостиками. В тепловых мостиках происходит возрастание плотности теплового потока, вследствие чего в этих местах теплопритоки увеличиваются непропорционально площади мостиков. Но значительно больший вред приносят тепловые мостики тем, что они являются очагами увлажнения изоляционной конструкции. Дело в том, что их температура гораздо ниже, чем теплой поверхности теплоизоляционного слоя, и это может вызвать локальную конденсацию пара и дальнейшее продвижении влаги по материалу под действием капиллярных, а затем гравитационных сил.

Уменьшить вредное влияние тепловых мостиков можно путем создания возле них теплоизолированных участков или так называемых фартуков. Для определения требуемой длины фартука $l_{\text{ф}}$ обычно полагают, что термическое сопротивление вдоль мостика, покрытого фартуком, должно равняться термическому сопротивлению основного теплоизоляционного слоя, т. е. $\delta_{\text{из}}/\lambda_{\text{из}} = l_{\text{ф}}/\lambda_{\text{м}}$, откуда

$$l_{\text{ф}} = \delta_{\text{из}}\lambda_{\text{м}}/\lambda_{\text{из}},$$

где $\lambda_{\text{м}}$ — теплопроводность материала теплового мостика.

Длина фартука обычно составляет 1–1,5 м, а толщина изоляционного слоя фартука — 0,5 $\delta_{\text{из}}$. Устройство фартука влечет за собой повышенный расход теплоизоляционных материалов, появление уступа на полу помещения и уменьшение полезного объема помещения. По этим причинам оно может выполняться лишь при невозможности осуществления более рациональных конструкций.

Для создания непрерывного изоляционного слоя в многоэтажных зданиях применяют специальные конструкции, называемые этажерочными. Такая конструкция представляет собой монолитную или сборную этажерку, у которой колонны являются стойками, а междуэтажные перекрытия — полками. Вся нагрузка от уложенных грузов передается через перекрытия на колонны. В такой конструкции наружные стены испытывают нагрузку только от собственной массы, т. е. являются самонесущими и защищают изоляционный слой от механических повреждений и атмосферных осадков.

Одноэтажные холодильники имеют наружный или внутренний каркас, к колоннам которого крепятся стеновые панели, на балки укладываются потолочные панели; пол выполняется также из панелей. Таким образом, создается непрерывность тепло- и пароизоляции вокруг всего охлаждаемого контура, причем теплоизоляционный материал в панелях оказывается хорошо защищенным от увлажнения металлическими обо-

лочками. Наружный каркас для холодильников предпочтительнее, так как в этой конструкции образуется меньше тепловых мостиков, в частности, у колонн.

Для обеспечения пожарной безопасности конструкции, включающие теплоизоляцию из сгораемых и трудносгораемых материалов, должны разделяться так называемыми противопожарными поясами поэтажно и на отсеки, площадью не более 500 м^2 при использовании сгораемых материалов и 1000 м^2 — трудносгораемых. Противопожарный пояс должен быть шириной не менее $0,5 \text{ м}$ из негорючего теплоизоляционного материала с $\lambda_{\text{из}} \leq 0,174 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ и иметь пароизоляцию из несгораемого материала. Теплоизоляция из сгораемого и трудносгораемого материала должна быть защищена со стороны помещения материалом, обеспечивающим пределы огнестойкости теплоизоляционной конструкции и распространения огня по нему в соответствии с требованиями НТД. Поэтому существуют панели типа сэндвич 4–5-слойные, содержащие защитные слои из гипса или бетона.

Некоторые теплоизоляционные материалы, особенно органического происхождения, разрушаются грызунами. Для защиты таких материалов в конструкцию вводят элемент, препятствующий доступу грызунов к изоляции. Например, со стороны помещения по поверхности теплоизоляционного слоя устанавливают металлическую сетку с ячейками размером не более $12 \times 12 \text{ мм}$ на высоту 1 м от пола.

Типовые теплоизоляционные конструкции. При проектировании обычно используют типовые теплоизоляционные конструкции. Современная строительная технология основывается на использовании готовых к сборке элементов, называемых панелями типа сэндвич.

Панели типа «сэндвич» — это элементы теплоизоляционной и одновременно ограждающей конструкции, состоящие из трех и более слоев. Трехслойная панель включает слой теплоизоляции (обычно из пенополиуретана) и два облицовочных слоя из металла (оцинкованной стали, сплава алюминия, некорродирующей стали, фанеры), которые защищают теплоизоляцию и придают прочность панели.

Для повышения теплоустойчивости (тепловой инерционности), прочности и придания определенного архитектурного вида панель с внешней стороны могут покрывать слоем бетона или природного камня. Из таких панелей выполняют цокольную часть здания.

Для повышения огнестойкости панелей в их состав вводят огнеупорный материал, например, гипсоволокнистые плиты. Четырехслойная панель содержит один слой гипса, а пятислойная — два слоя.

Толщина металла $0,6\text{--}0,8 \text{ мм}$, бетона или натурального камня $40\text{--}60 \text{ мм}$, гипса 20 мм , а толщина изоляции зависит от условий (до $0,2 \text{ м}$).

Внешняя поверхность металлического листа обычно покрыта пластмассовой (полихлорвиниловой, полиэфирной) пленкой толщиной от 0,025 до 0,2 мм в зависимости от вида пластмассы и назначения панели.

Размеры панелей, выпускаемых разными фирмами, могут быть различными. Обычно ширина составляет 0,8–1,2 м, а длина изменяется в широких пределах — от 6 до 20 м.

Панели соединяются между собой, например, закладными замками эксцентрикового типа 1 (рис. 3.5).

Герметичность стыков (швов) обеспечивается уплотняющими лентами 2 и герметиком (силиконом). Относительно широкие щели заделывают вспененным полиуретаном. Торцы панелей, расположенные в углу здания, закрывают клейкой лентой.

Наружные стены зданий выполняют из панелей типа сэндвич толщиной 150 мм и более.

Покрытия состоят из несущих конструкций, теплоизоляции и кровли. Кровля может быть плоской (холодильник с внутренним несущим каркасом) и двухскатной (холодильник с внешним несущим каркасом).

Плоская кровля имеет многослойный рулонный гидроизоляционный ковер, расположенный на теплоизоляционных панелях. Кровля двухскатная имеет настил из оцинкованного стального профилированного листа.

Потолок помещений обычно подвесной. Потолочные панели крепят к каркасу металлическими или пластмассовыми болтами.

Внутренние стены выполняют также из панелей толщиной до 100 мм.

Пол помещений должен быть прочным, износостойким, легко очищаемый от загрязнений и водонепроницаемым. В одноэтажных холодильниках пол состоит из нескольких слоев: верхнего покровного (например, плитки из кварцевого цемента, расположенного на бетонном подстилающем слое); теплоизоляционного из панелей; гидроизоляционного и бетонной плиты, расположенной на грунте.

Если в помещениях с отрицательной температурой воздуха пол расположен на пучинистом грунте, то в его конструкции необходимо предусмотреть устройство, защищающее грунт от промерзания, и не только

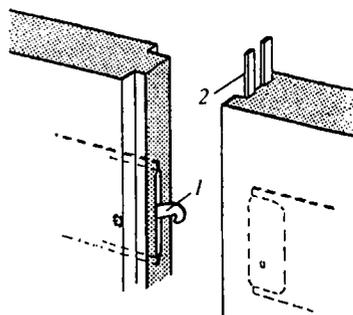


Рис. 3.5. Схема соединения панелей:

- 1 — закладной замок;
- 2 — уплотняющие ленты

под помещениями, но под примыкающими к ним коридорами, вестибюлями, лифтовыми шахтами.

Двери для въезда погрузчиков обычно раздвижные с механическим приводом:

- одностворчатые, если грузовой поток средней интенсивности, шириной от 1,2 м и высотой от 2,1 м;
- двухстворчатые при большой интенсивности грузопотока шириной и высотой от 1,8 м.

Дверное полотно имеет жесткий каркас из клееной древесины, теплоизоляционный слой (обычно из пенополиуретана) толщиной до 150 мм и облицовку из металла (оцинкованная сталь, алюминий, некорродирующая сталь) толщиной 0,6 мм с пластмассовым покрытием. Плотность прилегания дверного полотна к раме обеспечивается резиновым уплотнением. Чтобы двери низкотемпературных помещений не примерзали к раме, они обогреваются по периметру с помощью электрического нагревательного кабеля.

Теплоизоляционные конструкции аппаратов и трубопроводов.

Они должны отвечать тем же требованиям, что и конструкции помещений. Конечно, им присущи и некоторые особенности. В соответствии с НТД в составе теплоизоляционной конструкции трубопроводов с температурой поверхности ниже 12°С должен быть пароизоляционный слой. А необходимость в нем при температурах 12–20°С определяется расчетом. Для аммиачных трубопроводов не допускается применять в конструкции сгораемые материалы. В помещениях, где производятся пищевые продукты, не допускается использование в конструкции теплоизоляции из минеральной и стеклянной ваты.

Определение толщины теплоизоляционного слоя производится на основании тех же условий, что и для теплоизоляционной конструкции помещений, но в большинстве случаев используют условие предотвращения конденсации влаги на поверхности конструкции.

Если пренебречь термическим сопротивлением переходу теплоты от внутренней поверхности трубы к хладагенту (хладоносителю) и термическим сопротивлением стенки трубы, то толщину теплоизоляционного слоя можно определить по формулам:

- для плоской поверхности (диаметр объекта 2 м и более)

$$\delta_{\text{из}} = \lambda_{\text{из}}(t_p - t_{\text{вн}})/[\alpha_n(t_n - t_p)], \quad (3.13)$$

- для цилиндрической поверхности (диаметр объекта менее 2 м)

$$\delta_{\text{из}} = (m - 1)/2, \quad (3.14)$$

где $t_{вн}$ — температура внутренней поверхности, равная температуре протекающей среды; $d_{вн}$ — диаметр внутренней поверхности; $m = d_{из}/d_{вн}$ — отношение диаметра изоляции $d_{из}$ к диаметру внутренней поверхности, определяемое из равенства

$$m \ln m = 2\delta_{из}[(t_p - t_{вн})/(t_{н} - t_p)]/(\alpha_{н}d_{вн}). \quad (3.15)$$

Непрерывность тепло- и пароизоляционных слоев теплоизоляционных конструкций холодных трубопроводов и аппаратов весьма важна, так как вероятность быстрого увлажнения теплоизоляционного материала здесь выше, чем в изоляционной конструкции помещений.

Как известно, поток водяного пара под действием разности парциальных давлений движется через изоляционную конструкцию в направлении холодной стороны. Обычная изоляционная конструкция помещений в той или иной степени проницаема для водяного пара и он, если температура слоев ограждения выше температуры точки росы, проходит изоляцию и поступает в воздух помещения.

Однако в тех же условиях водяной пар не может выйти из изоляционной конструкции, так как металлическая стенка трубопровода и аппарата, расположенная с холодной стороны, является абсолютно непроницаемым пароизоляционным слоем. Поэтому теплоизоляционная конструкция трубопроводов и аппаратов должна иметь большое сопротивление паропрониканию за счет использования теплоизоляционного и защитного (покровного) слоев с высоким сопротивлением, а выполнения защитного слоя герметичным, например из фольгоизола с проваркой швов.

Кроме того, поверхность трубы защищают от коррозии, покрывая, например, битумной мастикой, а теплоизоляционный материал выбирают с низким водопоглощением, например, вспененную резину.

ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ ОХЛАЖДАЕМЫХ ОБЪЕКТОВ

Целью теплового расчета охлаждаемых объектов является определение тепловых нагрузок на холодильное оборудование, в первую очередь, на компрессоры и охлаждающие устройства. Выполнение теплового расчета позволяет подобрать холодильное оборудование такой мощности, которая обеспечит требуемый режим работы.

Все виды теплопритоков можно распределить по четырем группам:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4, \quad (4.1)$$

где Q_1 — теплоприток от окружающей среды через ограждения; Q_2 — теплоприток от продуктов при их холодильной обработке; Q_3 — теплоприток от наружного воздуха при вентиляции охлаждаемого объекта; Q_4 — от источников, связанных с эксплуатацией охлаждаемых объектов (рис. 4.1).

Нагрузка на холодильное оборудование определяется суммированием всех i -х теплопритоков $Q_{об} = \sum Q_i$. Однако величина составляющих теплопритока изменяется во времени. Теплоприток от окружающей среды через ограждения и теплоприток от наружного воздуха при вентиляции определяются температурой наружного воздуха, которая колеблется на протяжении года. В ряде случаев могут отсутствовать отдельные виды теплопритоков.

Максимальные значения отдельных составляющих теплопритоков, как правило, не совпадают по времени. Поэтому важным является вы-

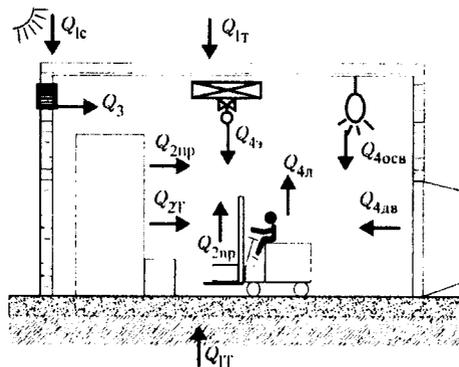


Рис. 4.1. Виды теплопритоков

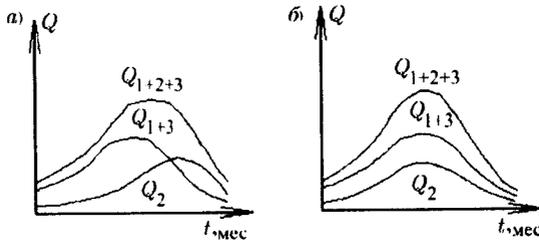


Рис. 4.2. Нахождение расчетного периода:

- а* — максимумы теплопритоков не совпадают по времени;
б — максимумы теплопритоков совпадают по времени

бор расчетного периода, когда сумма расчетных теплопритоков получается максимальной (рис. 4.2). Суммарная нагрузка на компрессор может быть меньше, чем на все установленные охлаждающие устройства, если компрессор поддерживает их работу сразу в нескольких объектах (технологических линиях). Ярким показателем является одновременная или неодновременная работа аппарата охлаждения молока и пастеризационно-охладительной установки (рис. 4.3). В первом случае тепловая нагрузка на компрессор состоит из тепловых нагрузок на аппарат охлаждения молока и пастеризационно-охладительную установку, а во втором она равна тепловой максимальной нагрузке на одно из охлаждающих устройств — аппарат охлаждения молока. Отсюда следует, что при выборе расчетного периода учет организации технологических процессов на пищевом предприятии позволит избежать чрезмерных затрат на холодильное оборудование, которое большие периоды времени будет простаивать.

В технологическом процессе пищевого предприятия участвует существенно больше холодильно-технологических аппаратов, чем показано

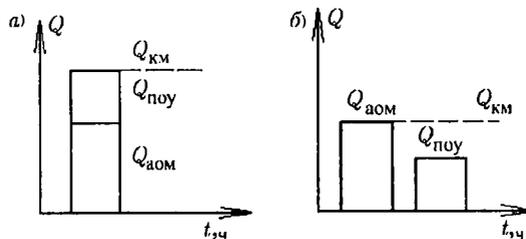


Рис. 4.3. Нахождение расчетной нагрузки на компрессор:

- а* — одновременная работа аппаратов; *б* — неодновременная работа аппаратов;
 $Q_{км}$ — тепловая нагрузка на компрессор; $Q_{аом}$ — теплоприток от аппарата охлаждения молока; $Q_{пуу}$ — теплоприток от пастеризационно-охладительной установки

в приведенном примере, и график теплопритоков реального предприятия имеет более сложный вид.

4.1 Теплоприток от окружающей среды

Этот теплоприток в общем случае включает теплопритоки $Q_1 = Q_{1T} + Q_{1C}$, обусловленные разностью температур окружающего воздуха и помещения

$$Q_{1T} = F_{\text{н}}(t_{\text{н}} - t_{\text{пм}})/R_{\text{н}} \quad (4.2)$$

и солнечным тепловым излучением

$$Q_{1C} = F_{\text{н}}\Delta t_c/R_{\text{н}}, \quad (4.3)$$

где $F_{\text{н}}$ — площадь поверхности ограждения; $t_{\text{н}}$ — температура воздуха с наружной стороны ограждения; $t_{\text{пм}}$ — температура воздуха в охлаждаемом помещении; Δt_c — избыточная разность температур, вызванная солнечным тепловым излучением; $R_{\text{н}}$ — термическое сопротивление ограждения.

Размеры и расчетную площадь поверхности ограждения определяют следующим образом (рис. 4.4). Длину наружных угловых помещений находят по размеру от наружной поверхности стены до оси внутренней стены (размер a для западной стены и b для северной). Длину наружной стены не углового помещения определяют по размерам между осями внутренних стен (размер c). Длину внутренних стен (перегородок) определяют по размеру от внутренней поверхности наружных стен до оси внутренних стен (размер d) или по размеру между осями внутренних стен (размер e).

Высоту камер одноэтажного здания или высоту стен верхнего (последнего) этажа многоэтажного здания находят по размеру от уровня

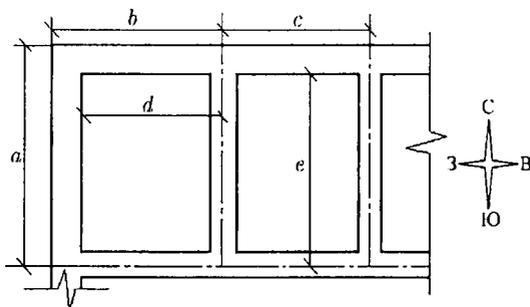


Рис. 4.4. Определение размеров ограждений при расчете теплопритоков

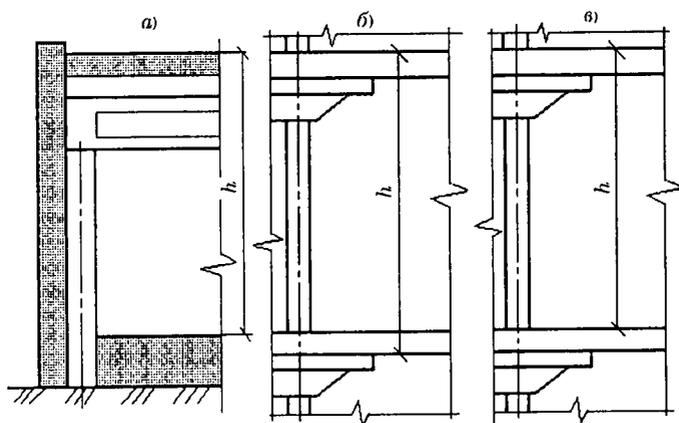


Рис. 4.5. Определение высоты ограждений:
а — одноэтажное здание; *б* — первый этаж многоэтажного здания; *в* — промежуточный этаж многоэтажного здания

чистого пола до верха засыпки (теплоизоляции) покрытий (рис. 4.5, *а*). Высоту стен промежуточного этажа определяют по размеру от уровня пола одного этажа до пола другого (рис. 4.5, *в*). Высоту стен первого этажа при наличии пола, расположенного непосредственно на грунте, определяют по размеру от уровня чистого пола первого этажа до уровня пола второго этажа, при наличии неотапливаемого подвала или подполья — по размеру от уровня нижней поверхности конструкции пола первого этажа до уровня пола второго этажа (рис. 4.5, *б*).

Площадь поверхности полов и потолков находят по размерам между осями внутренних стен (размер *с*) и от внутренней поверхности наружных стен до осей внутренних стен (размеры *д* и *е*). Площадь поверхности неотапливаемых полов, расположенных на грунте, определяется по зонам (рис. 4.6), причем участок зоны I около угла наружных стен учитывается дважды. Ширина I, II и III зон принимается по два метра, а на зону IV приходится оставшийся участок. Если пол углублен ниже уровня поверхности земли, то отсчет зон начинают от уровня земли (рис. 4.6, *б*).

Размеры строительных ограждений рассчитывают с точностью до 0,1 м, а площадь поверхности — с точностью до 0,1 м².

Температура наружного воздуха изменяется во времени в значительных пределах. Поэтому в тепловых расчетах используют расчетную температуру. Строительными нормами предусмотрено четыре варианта определения расчетной температуры наружного воздуха в зависимости от тепловой инерции ограждающих конструкций. Для ограждений с большой тепловой инерционностью (массивность $D > 7$) рекомендуется

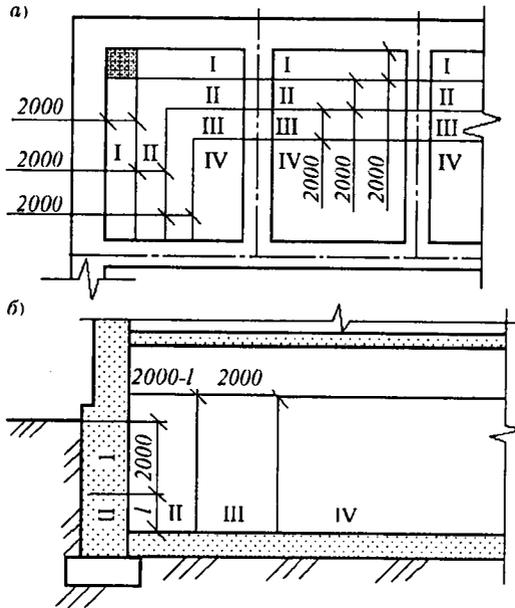


Рис. 4.6. Определение размеров зон пола:
 а — площади пола; б — наружного ограждения подвала;
 I, II, III, IV — номера зон; l — размер меньше 2000 мм

принимать в качестве расчетной среднюю температуру наиболее жаркой пятидневки:

$$t_{\text{н}} = t_{\text{н.р.5}} = t_{\text{ср.м}} + 0,25t_{\text{а.м}}, \quad (4.4)$$

или

$$t_{\text{н}} = t_{\text{н.р.5}} = 0,4t_{\text{ср.м}} + 0,6t_{\text{а.м.}}$$

где $t_{\text{н.р}}$ — расчетная температура наружного воздуха; $t_{\text{ср.м}}$ — средняя температура самого жаркого месяца; $t_{\text{а.м}}$ — температура абсолютного максимума;

К массивным ограждениям относятся, в основном, конструкции из кирпичной кладки. Для ограждений средней тепловой инерционности ($4 < D < 7$) в качестве расчетной температуры принимают среднюю температуру наиболее жарких трех суток

$$t_{\text{н}} = t_{\text{н.р.3}} = (t_{\text{н.р.5}} + t_{\text{ж.с}})/2, \quad (4.5)$$

где $t_{\text{ж.с}}$ — средняя температура наиболее жарких суток.

К ограждениям средней массивности чаще могут быть отнесены конструкции из железобетонных панелей. Для ограждений малой тепловой

инерционности ($1,5 < D < 4$) в качестве расчетной температуры принимают среднюю температуру наиболее жарких суток $t_{ж.с.}$.

Для безынерционных ограждений ($D < 1,5$) за расчетную температуру воздуха принимают величину абсолютного максимума температуры $t_{а.м.}$. К такого рода ограждениям относятся конструкции из панелей «сэндвич».

Редко охлаждаемые помещения граничат с коридорами, вестибюлями и другими помещениями, в которых не предусматривается отопление или охлаждение, т. е. не поддерживается фиксированная температура. В подобных ситуациях обычно используют расчетную разность температур

$$\Delta t_p = a(t_{н.р} - t_{пм}), \quad (4.6)$$

где a — поправочный коэффициент, значение которого зависит от ситуации: 0,7 — если соседнее помещение не соединено непосредственно с наружным воздухом; 0,6 — соседнее помещение не имеет непосредственной связи с наружным воздухом, включая окна и другие устройства; 0,5 — соседнее помещение является подвалом, не имеющим окон или системы вентиляции.

Теплоприток $Q_{1т}$ через пол, расположенный на неотапливаемом грунте, рассчитывают по формуле

$$Q_{1т} = (t_{н} - t_{пм})m \sum F_i k_i \cdot 10^{-3}, \quad i = 1 \dots 4, \quad (4.7)$$

где k_i — условный коэффициент теплопередачи, принимают для расчетных i — зон равным: I — 0,47 Вт/(м² · К), II — 0,28 Вт/(м² · К), III — 0,12 Вт/(м² · К), IV — 0,07 Вт/(м² · К); $m = 1/(1 + 1,25 \sum \delta_i/\lambda_i)$ — коэффициент, учитывающий наличие изоляции в конструкции пола (при отсутствии теплоизоляции равен 1); δ_i — толщина теплоизоляции, м; λ_i — теплопроводность изоляции, Вт/(м² · К); F_i — площадь i -ой зоны, м².

Термические сопротивления теплоограждающих конструкций принимаются по нормам на этапе проектирования охлаждаемых объектов либо рассчитываются по уравнению теплопередачи для известной конструкции ограждения

$$R = 1/\alpha_{н} + \sum \delta_i/\lambda_i + 1/\alpha_{вн}, \quad (4.8)$$

где $\alpha_{н}$ — коэффициент теплоотдачи от воздуха к наружной поверхности ограждения, принимается по нормам; $\alpha_{вн}$ — коэффициент теплоотдачи от воздуха к внутренней поверхности ограждения, принимается по нормам; δ_i — толщины слоев ограждения; λ_i — теплопроводность соответствующих слоев ограждения.

Несовпадение пика теплопритоков с самым жарким месяцем позволяет использовать расчетную температуру, рассчитанную по вышеприведенным формулам, подставляя среднюю и максимальную температуры соответствующего месяца.

Воздействие солнечного излучения на поверхность ограждения приводит к повышению ее температуры $t_{н.п}$ до более высокого значения, чем температура наружного воздуха t_n (рис. 4.7). Если изменение температуры в ограждающей конструкции при отсутствии солнечного излучения показать сплошной линией, то пунктирная линия покажет характер изменения температуры при наличии солнечного облучения поверхности.

Величина нагрева наружной поверхности $\Delta t_c = t_{н.п} - t_n$ зависит от цвета и шероховатости поверхности, численное значение которой определяется коэффициентом поглощения.

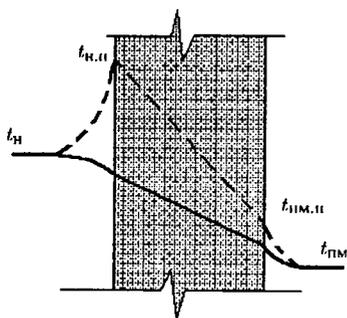


Рис. 4.7. Воздействие солнечного излучения на поверхность ограждения:

t_n — температура наружного воздуха;
 $t_{н.п}$ — температура наружной поверхности ограждения; $t_{вн.п}$ — температура внутренней поверхности ограждения; $t_{пм}$ — температура охлаждаемого помещения

Избыточная разность температур от солнечной радиации Δt_c принимается по справочным данным в зависимости от материала поверхности ограждения, географической широты расположения охлаждаемого помещения и назначения ограждения (стена или кровля).

Особенность теплопритока от солнечной радиации состоит в том, что солнце последовательно на протяжении суток освещает восточную, южную и западную стены. Поэтому учитывают только максимальный теплоприток через одну из стен. Теплоприток от солнечной радиации через покрытие охлаждаемого объекта учитывается полностью.

Расчет теплопотерь необходимо производить применительно к охлаждаемым помещениям с относительно высоким температурным режимом, т. е. выше наружной температуры воздуха в данной местности в осенне-зимний период. В этом случае расчетная температура наружного воздуха определяется в соответствии с нормами. Для ограждений с большой тепловой инерционностью (массивность $D > 7$) рекомендуется принимать в качестве расчетной среднюю температуру наиболее холодной пятидневки по строительным нормам. Для ограждений средней тепловой инерционности ($4 < D < 7$) в

качестве расчетной температуры принимают среднюю температуру наиболее холодных трех суток

$$t_n = t_{н.р.3} = (t_{н.р.5} + t_{х.с})/2, \quad (4.9)$$

где $t_{ж.с}$ — средняя температура наиболее жарких суток.

Для ограждений малой тепловой инерционности ($1,5 < D < 4$) в качестве расчетной температуры принимают среднюю температуру наиболее холодных суток $t_{х.с}$.

Для безынерционных ограждений ($D < 1,5$) за расчетную температуру воздуха принимают величину абсолютного минимума температуры $t_{а.мин}$.

Сложение теплопритоков для каждого охлаждаемого объекта следует производить с учетом проектируемой или эксплуатируемой системы охлаждения. Применение для охлаждаемого объекта одной или нескольких индивидуальных холодильных машин (децентрализованная система охлаждения) требует сложения всех теплопритоков проникающих в камеру. Использование одного компрессора или группы компрессоров (централизованная система охлаждения) для поддержания режима в нескольких объектах приводит к расхождению в определении тепловой нагрузки на охлаждающие устройства (местное оборудование) и компрессоры (центральное оборудование). В тепловой нагрузке на местное оборудование учитываются все теплопритоки в соответствующие объекты, а теплоотвод (теплоприток со знаком «минус») не учитывается. Это позволяет учесть неблагоприятные условия работы местного оборудования, связанные с выводом соседних объектов из режима охлаждения. В тепловой нагрузке на центральное оборудование теплопритоки через ограждения между соседними объектами, обслуживаемыми одной группой компрессоров, должны складываться с учетом направления теплопритока, т. е. со знаком «плюс» или «минус».

4.2 Теплоприток от продуктов при их холодильной обработке и хранении

В общем случае теплоприток Q_2 рассчитывают по формуле

$$Q_2 = Q_{2пр} + Q_{2т} + Q_{26х}, \quad (4.10)$$

где $Q_{2пр}$ и $Q_{2т}$ — теплопритоки от продукта и тары, $Q_{26х}$ — теплоприток от биохимических реакций.

Наличие воды в пищевых продуктах, формы связи воды и химический состав продуктов определяют расчет теплопритока при холодильной обработке продукта на несколько составляющих: охлаждение, замораживание, домораживание, биохимические реакции. В процессе

охлаждения продуктов не происходит замораживание воды, содержащейся в продуктах. При замораживании продуктов происходит превращение большей части воды, содержащейся в продуктах, в лед. В процессе домораживания увеличивается доля вымороженной воды. Поэтому рекомендуется пользоваться при расчетах не произведением теплоемкости продукта на разность температур в начале и конце процесса, а разностью энтальпий, в значениях которых уже учтена доля вымороженной воды и изменение теплоемкости продуктов в процессах охлаждения и замораживания. При хранении продуктов растительного происхождения протекают процессы, сопровождающиеся поглощением кислорода и выделением диоксида углерода, воды, теплоты вследствие преобразования сахаров, крахмала, кислот. Аналогичные процессы происходят при созревании сыров. Производство пива, вин, квашение капусты сопровождается процессами брожения, при котором выделяется 614 кДж/кг теплоты.

Составляющие теплопритока Q_2 определяют по зависимостям:

— при заданной производительности устройства по обрабатываемым продуктам $m_{пр}$ и таре (охлаждаемым элементам конвейера) $m_{т}$ (кг/с)

$$Q_{2пр} = m_{пр}(i_1 - i_2); \quad (4.11)$$

$$Q_{2т} = m_{т}c_{т}(t_1 - t_2); \quad (4.12)$$

— при заданной массе обрабатываемых в течение суток продуктов $m_{пр.с}$ и $m_{т.с}$ (кг/сут)

$$Q_{2пр} = m_{пр.с}(i_1 - i_2)/(24 \cdot 3600); \quad (4.13)$$

$$Q_{2т} = m_{т.с}c_{т}(t_1 - t_2)/(24 \cdot 3600); \quad (4.14)$$

— при известной массе (вместимости) обрабатываемых продуктов $M_{пр}$ и тары $M_{т}$ (кг) и известной продолжительности холодильной обработки τ (ч)

$$Q_{2пр} = M_{пр}(i_1 - i_2)/(3600\tau); \quad (4.15)$$

$$Q_{2т} = M_{т}c_{т}(t_1 - t_2)/(3600\tau), \quad (4.16)$$

где i_1 и i_2 — энтальпии, соответствующие начальной и конечной температурам продуктов; t_1 и t_2 — начальная и конечная температуры тары, обычно равные начальной и конечной температурам продукта; $c_{т}$ — удельная теплоемкость тары.

Суточное поступление продуктов в камеры хранения холодильников обычно принимают 8% вместимости камер, если она не менее 200 т

и 6% — камер большей вместимости, суточное поступление овощей и фруктов — 10% вместимости камер, суточное поступление в камеры с регулируемой газовой средой 10–20%, для предприятий торговли и общественного питания 30–100 %.

В камерах холодильной обработки периодического действия, если нагрузки на центральное и местное оборудование не совпадают во времени, теплоприток, определенный по формуле (4.14), относят к нагрузке на компрессор, а нагрузку на оборудование увеличивают на 40–70%

$$Q_{206} = (1,4 - 1,7)Q_{2км} \quad (4.17)$$

Теплоприток $Q_{26х}$ от внутренних источников (протекающих биохимических процессов в продуктах) определяют по зависимостям:

— при охлаждении и хранении плодов и овощей

$$Q_{26} = (0,1q_n + 0,9q_{пм})E \cdot 10^{-3}, \quad (4.18)$$

— при хранении в регулируемой газовой среде

$$Q_{26} = (0,3 - 0,5)q_{пм}E; \quad (4.19)$$

— при созревании сыров

$$Q_2 = q_c E \cdot 10^{-3}; \quad (4.20)$$

— при брожении пивного и винного сусла, заквашивании капусты

$$Q_{26} = m_{пр.с} z q_{6р} / (3600 \cdot 24), \quad (4.21)$$

где 0,1, 0,9 — доля поступающего и хранящегося продукта в камере; q_n и $q_{пм}$ — удельные тепловыделения, определяемые по температурам поступающего и хранящегося в помещении продукта; 0,3–0,5 — коэффициент, учитывающий снижение тепловыделений от продуктов при хранении в регулируемой газовой среде; q_c — удельное тепловыделение хранящегося сыра, равно $q_c = 0,13$ Вт/кг; $q_{6р}$ — удельная теплота, выделяемая при брожении, $q_{6р} = 614$ кДж/кг; z — доля сбраживаемого сахара.

4.3 Теплоприток при вентиляции помещений наружным воздухом

Теплоприток Q_3 учитывают в двух случаях. Первый случай обусловлен необходимостью вентиляции помещения по технологическому регламенту, например, в камерах хранения плодов и овощей. Рассчитывают по формуле

$$Q_3 = V_{пм} \rho_{пм} a_{пм} (i_n - i_{пм}) / (3600 \cdot 24), \quad (4.22)$$

где $V_{\text{пм}}$ — объем воздуха в помещении; $\rho_{\text{пм}}$ — плотность воздуха в охлаждаемом помещении; $a_{\text{пм}}$ — кратность суточного воздухообмена помещения, которая определяется по требованиям СНиП 2.04.05-91, обычно $a_{\text{пм}} = 1 - 6$; $i_{\text{н}}$ и $i_{\text{пм}}$ — энтальпии воздуха, соответствующие наружной температуре и температуре воздуха в охлаждаемом помещении.

Второй случай предусматривает подачу свежего воздуха людям, работающим в охлаждаемом помещении

$$Q_3 = 20n\rho_{\text{пм}}(i_{\text{н}} - i_{\text{пм}})/3600, \quad (4.23)$$

где 20 — объем воздуха, подаваемого на одного работающего $\text{м}^3/\text{ч}$; n — число одновременно работающих людей в охлаждаемом помещении.

4.4 Эксплуатационные теплопритоки

В период эксплуатации охлаждаемых помещений появляются еще несколько теплопритоков: от освещения помещения; от людей, работающих в помещении; от электродвигателей вентиляторов воздухоохлаждателей, системы вентиляции, погрузо-разгрузочных механизмов, систем оттаивания инея с воздухоохлаждателей, нагревателей дверных проемов; из смежных помещений при открывании дверей, через окна загрузки и выгрузки транспортеров, инфильтрация через щели дверей, окон. Нередко составляющие эксплуатационных теплопритоков действуют неодновременно, например, от электродвигателей вентиляторов воздухоохлаждателей и системы оттаивания инея. В таком случае учитывается наибольшая величина составляющей.

Сумма эксплуатационных теплопритоков в общем случае определяется по зависимости

$$Q_4 = Q_{4.1} + Q_{4.2} + Q_{4.3} + Q_{4.4},$$

где $Q_{4.1}$ — теплоприток от освещения; $Q_{4.2}$ — теплоприток от работающих электродвигателей; $Q_{4.3}$ — теплоприток от работающих людей; $Q_{4.4}$ — теплоприток из смежных помещений через открытые двери.

Указанные теплопритоки рассчитывают по формулам:

$$Q_{4.1} = N_{\text{осв}}\eta_{\text{одн}} \quad Q_{4.1} = q_{4.1}F_{\text{пм}} \quad (4.24)$$

$$Q_{4.2} = N_{\text{эл}}\eta_{\text{одн}} \quad Q_{4.2} = q_{4.2}F_{\text{пм}}, \quad (4.25)$$

$$Q_{4.3} = 0,35n, \quad (4.26)$$

$$Q_{4.4} = \beta F_{\text{дв}}(1 - \eta)q_{4.4}, \quad (4.27)$$

где $N_{\text{осв}}$ — мощность светильников; $\eta_{\text{одн}}$ — коэффициент одновременно-сти включения осветительных приборов или электродвигателей, $\eta_{\text{одн}} = 0,4 - 1$; $q_{4.1}$ — плотность теплового потока от светильников, обычно относится к площади пола охлаждаемого помещения, для складских помещений рекомендуется принимать $q_{4.1} = 5 - 8 \text{ Вт/м}^2$; $N_{\text{эл}}$ — мощность электродвигателей, одновременно работающих в помещении; $q_{4.2}$ — плотность теплового потока от электродвигателей в помещениях, оборудованных воздухоохладителями, отнесенная к площади пола охлаждаемого помещения; n — число людей, одновременно работающих в помещении, $n = 2 - 4$; β — коэффициент продолжительности открытия дверей, $\beta = 0,15$ для камер хранения производственных холодильников, $\beta = 0,3$ для камер хранения распределительных холодильников, $\beta = 1$ для камер холодильной обработки; $F_{\text{дв}}$ — площадь дверного проема; η — коэффициент эффективности снижения теплопритоков при использовании средств теплозащиты дверного проема, $\eta = 0,6$ для воздушной завесы, $\eta = 0,8$ для самозакрывающихся дверей, $\eta = 0,95$ для совместного применения тамбура с самозакрывающимися дверями и воздушной завесой; $q_{4.4}$ — плотность теплового потока, отнесенного к площади дверного проема.

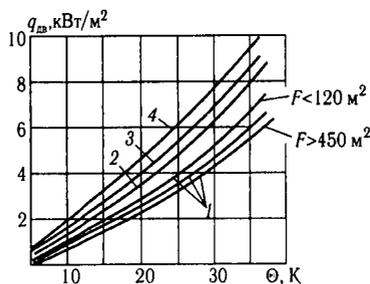


Рис. 4.8. Плотность теплового потока через открытый дверной проем: 1 — камеры хранения с естественной циркуляцией воздуха; 2 — прочие охлаждаемые помещения с естественной циркуляцией воздуха; 3 — камеры холодильной обработки продуктов с принудительной циркуляцией воздуха; 4 — прочие охлаждаемые помещения с принудительной циркуляцией воздуха

Плотность теплового потока рекомендуется определять для дверей выходящих в смежные помещения по рис. 4.8, а для дверей, открываемых непосредственно наружу, по формуле

$$q_{\text{дв}} = 0,37L\rho_{\text{н}}(0,15 + 0,013\theta)(0,95\theta + 2500\Delta d), \quad (4.28)$$

где Δd — разность влагосодержания наружного воздуха и воздуха охлаждаемого помещения, кг/кг; L — коэффициент (значение зависит от

Таблица 4.1

$V_{\text{пм}}, \text{ м}^3$	$a_{\text{пм}}, \text{ сут}^{-1}$, при температуре воздуха в камере, °С	
	Ниже 0	Выше 0
2,5	62	70
3,0	47	63
4,0	40	55
6,0	35	47
7,5	28	38
10,0	24	32
15,0	10	26
20,0	17	22
25,0	15	20

размеров площади пола охлаждаемого помещения: менее $120 \text{ м}^2 L = 0,75$, $120 - 450 \text{ м}^2 L = 0,7$, более $450 \text{ м}^2 L = 0,6$); θ — максимальное значение температурного напора между помещениями, соединяемыми дверным проемом, определяется по зависимости $a(t_{\text{н}} - t_{\text{пм}})$. Значения a : смежное помещение с нефиксированной температурой и выходом непосредственно наружу — 0,7; смежное помещение с нефиксированной температурой и выходом наружу через другие помещения — 0,6; соседнее помещение с фиксированной температурой — 1,0.

Теплоприток в охлаждаемые помещения, объемом менее 25 м^3 , например, сборные холодильные камеры, из смежных помещений при открывании дверей $Q_{4\text{дв}}$, кВт, определяют по зависимости

$$Q_{4\text{дв}} = V_{\text{пм}} a_{\text{пм}} \rho_{\text{пм}} (i_{\text{н}} - i_{\text{пм}}) / (24 \cdot 3600). \quad (4.29)$$

Здесь $a_{\text{пм}}$ принимают по данным табл. 4.1.

Теплоприток от инфильтрации через открытый проем охлаждаемого торгового прилавка рассчитывают по зависимости

$$Q_{2\text{пр}} = g_{\text{в}} F_{\text{пр}} (i_{\text{н}} - i_{\text{пм}}),$$

где $g_{\text{в}}$ — плотность инфильтрационного потока воздуха через открытый проем (при разности температур окружающего воздуха и в витрине менее 12 К можно принять $0,09 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$, при более высокой разности температур — $0,02 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$); $F_{\text{пр}}$ — площадь открытого проема, м^2 .

Эксплуатационный теплоприток, учитываемый при подборе центрального холодильного оборудования, принимают в размере

$$Q_{4и} = (0,7 - 0,8)Q_4. \quad (4.30)$$

4.5 Теплопритоки в холодильно-технологических аппаратах

Ранее упоминалось, что все составляющие теплопритоков могут не проявляться или величина некоторых не превышает точности расчета.

Теплопритоки в некоторых холодильных технологических аппаратах можно определять по нижеприведенным зависимостям:

— пластинчатые теплообменные аппараты для охлаждения молока, молочных продуктов и фризеры для мороженого

$$Q_{пл} = [m_m(i_1 - i_2)/3600 + N_э\eta_э]k_э, \quad (4.31)$$

где m_m — часовой расход молока; i_1, i_2 — энтальпии продукта, определяемые в зависимости от температур поступления и выпуска продукта; $N_э$ — мощность электродвигателя, подающего в аппарат молочную продукцию; $\eta_э$ — КПД электродвигателя; $k_э$ — коэффициент запаса, равный 1,1–1,2;

— пастеризационно-охладительные установки

$$Q_{оп.у} = (m_m(i_1 - i_2)/3600 + N_{эл}\eta_{эл})(1 - r)k_э, \quad (4.32)$$

здесь r — коэффициент регенерации, принимаемый по паспортным характеристикам соответствующих установок;

— воздушные морозильные аппараты для закаливания мороженого

$$Q_{м.а} = m_m(i_1 - i_2)/3600 + 2k_{и}(LB + LH + BH)(t_{и} - t_{м.а}) + N_{эл}, \quad (4.33)$$

где L, B, H — длина, ширина, высота морозильного аппарата; $t_{и}, t_{м.а}$ — температура воздуха технологического цеха и в скороморозильном аппарате;

— эскимогенераторы

$$Q_{пл} = m_m(i_1 - i_2)/3600 + M_{ф}c_{ф}(t_{иф} - t_{кф})/3600 + F_p\alpha(t_{и} - t_p) + F_m\alpha(t_{и} - t_m) + F_бk_{и}(t_{и} - t_p) + N_{эл}\eta_{эл}, \quad (4.34)$$

где $M_{ф}$ — масса подвижных частей эскимогенератора, загружаемая смесью мороженого; $c_{ф}$ — теплоемкость подвижных частей; $t_{иф}, t_{кф}$ —

начальная и конечная температуры форм, °С; F_p — открытая поверхность рассола; α — коэффициент теплоотдачи от воздуха к поверхности рассола, $\alpha = 0,01 \text{ кВт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$; t_m, t_p — температура мороженого и рассола; F_m — поверхность мороженого в формах; F_6 — площадь боковой поверхности и днища эскимогенератора.

4.6 Итоговые данные расчета теплопритоков

Тепловая нагрузка на охлаждающие устройства и компрессоры при децентрализованном хладоснабжении находится суммированием теплопритоков для каждого отдельного помещения (аппарата) и компрессора (компрессоров)

$$Q_{об} = Q_{км} = \sum Q_{об.i}. \quad (4.35)$$

Выполняя сложение теплопритоков, следует учитывать продолжительность работы холодильного технологического оборудования, часть которого может эксплуатироваться несколько часов в сутки.

При централизованном хладоснабжении тепловая нагрузка на компрессоры определяется суммированием теплопритоков по группам помещений (аппаратов), имеющих одинаковую или близкую температуру (обычно различие не более 4 К).

Кроме расчета теплопритоков, подбор холодильного оборудования требует определения температур кипения хладагента, а при необходимости — температуры промежуточного хладоносителя. Температурный напор между воздухом охлаждаемого помещения и средой в батарее, обеспечивающей естественную циркуляцию воздуха, рационально выбирать в интервале 7–10 К. Температурный напор между воздухом охлаждаемого помещения и средой в воздухоохладителе, обеспечивающем принудительную циркуляцию воздуха, рационально выбирать в интервале 6–8 К. Температурный напор между жидким промежуточным хладоносителем и кипящим хладагентом, рационально выбирать в интервале 4–6 К.

При выполнении приближенных расчетов теплопритоки могут находиться по укрупненным показателям, отнесенным:

— к площади пола камеры

$$Q = Fq_f, \quad (4.36)$$

— к массе продукции

$$Q = Gq_g, \quad (4.37)$$

где q_f — плотность теплового потока, отнесенная к площади пола камеры; q_g — удельный теплоприток.

Многие проектные фирмы разрабатывают пакеты программ для расчета теплопритоков. В основу подобных программ положены различные методики, как правило, соответствующие принятой технологии в конкретной стране или в группе холодопотребляющих предприятий. В качестве примера можно привести программу Tbal, распространяемую фирмой «Остров» или Cold Room Calc. фирмы ООО «Холодильное дело».

ХОЛОДИЛЬНОЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Холодильное технологическое оборудование — это оборудование, предназначенное для низкотемпературной обработки пищевых продуктов путем создания и поддержания в охлаждаемых объектах заданного режима работы, характеризующегося температурой, влажностью, скоростью движения охлаждающей среды, а иногда и давлением, и газовым составом.

Разнообразие задач, решаемых при производстве и хранении пищевых продуктов, различие продуктов по размерам, форме, теплофизическим, механическим и другим свойствам, требует и различного холодильного технологического оборудования (по размерам и конструкции, способу отвода теплоты от продукта, виду охлаждающей среды), а в некоторых случаях еще необходимо вакуумное, газогенерирующее и сорбционное оборудование. Этим оборудованием оснащают охлаждаемые объекты.

Охлаждаемые объекты подразделяют на камеры, туннели и аппараты. *Камера* — это совокупность теплоизолированного помещения, охлаждающих устройств, устройств для размещения и транспортирования продукта. Камера в традиционном понимании является частью здания холодильника, но так называют и комплекс сборно-разборных теплоизоляционных конструкции с комплектом охлаждающих устройств и устройств для размещения продукта, который располагают в помещении или на открытом воздухе.

Туннель — это комплекс устройств, имеющий меньшую вместимость и размеры, чем камера, и обычно его длина значительно больше ширины. Он имеет сборно-разборную конструкцию с комплектом охлаждающих устройств и устройств для размещения и транспортирования продукта, обычно устанавливаемую в помещении.

Аппарат — это устройство полной заводской готовности, имеющее вместимость и размеры меньше, чем туннель и устанавливаемое в помещении.

Аппараты в наибольшей степени отвечают современным требованиям в отношении сохранения качества продуктов, снижения потери массы продукта и энергопотребления, гибкости производства, уровня автоматизации и производственной санитарии. Поэтому они широко распространены и разнообразны — отличаются способом отвода теплоты от продукта; видом среды, непосредственно воспринимающей теплоту

от продукта (воздух, криогенные жидкости, металлические поверхности); типом устройства для транспортирования продукта в процессе холодильной обработки (механический конвейер, воздушный поток) и др.

Аппараты применяют в основном для замораживания продуктов, поэтому их принято называть *морозильными* (скороморозильными).

5.1 Туннели и морозильные аппараты воздушного охлаждения

В туннелях и в большинстве морозильных аппаратов теплота от продукта воспринимается воздухом и передается поверхности охлаждающих устройств. Такое охлаждение появилось исторически первым и сейчас наиболее широко распространено. Воздух — естественная и достаточно инертная среда. Его можно использовать для холодильной обработки всех пищевых продуктов в широком интервале температур, скоростей движения и давлений. Указанные достоинства в значительной степени определяют универсальность применения и простоту конструкции туннеля и аппарата. Недостатками воздуха являются: относительно низкая способность аккумулировать теплоту; высокая способность поглощать влагу, что вызывает испарение влаги из продукта.

Туннели. Они представляют собой сооружение с мощным несущим каркасом из оцинкованной стали, к которому крепятся теплоизоляционные панели типа сэндвич, а их внутренние поверхности в местах возможного контакта с продуктом выполняют из некорродирующей стали. Внутри туннеля находятся воздухоохладители, оборудование для размещения продукта (тележки, вешала на подвесном пути), системы воздухораспределения для подачи воздуха на продукт, дренажирования талой воды и механизации загрузочно-разгрузочных работ (рис. 5.1). В туннелях с температурой воздуха ниже -4°C предусматривают обогрев пола.

Воздухоохладители, включающие пластинчато-ребристые охлаждающие батареи и осевые вентиляторы, обычно располагают под потолком, что уменьшает площадь туннеля. Туннели различают по вместимости (до 50 т) и целевому назначению, например, для замораживания полутуш мяса (рис. 5.1,а), упакованных штучных продуктов (рис. 5.1,б).

Воздушные морозильные аппараты. Воздушные аппараты имеют каркасную или бескаркасную конструкцию, теплоизоляционное ограждение из панелей типа сэндвич, облицовку из некорродирующей стали тех поверхностей, которые соприкасаются с продуктом, системы охлаждения, распределения воздуха, транспортирования продукта, автоматической санитарной обработки, автоматического управления и др.

Охлаждающие батареи воздухоохладителей выполняют из ребристо-трубных элементов часто с переменным шагом оребрения, уменьшающимся по ходу движения воздуха от 20–30 до 10–15 мм. Такое исполнение батарей связано с тем, что в процессе охлаждения продукт теряет много влаги, которая в виде инея осажается на поверхности батарей. Причем иней выпадает неравномерно по глубине, а в основном на первых по ходу движения воздуха рядах труб, уменьшая межреберное пространство и площадь живого сечения воздухоохладителя. Переменный шаг оребрения тем самым обеспечивает сохранение номинальной площади живого сечения воздухоохладителя по длине.

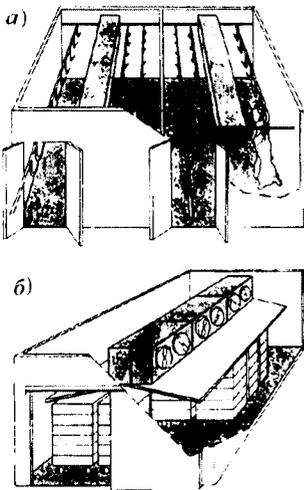


Рис. 5.1. Туннели для замораживания:

а — полутуш мяса на подвесных путях; *б* — упакованных продуктов на тележках

Система воздухораспределения включает вентиляторы (осевые, центробежные) и распределители потока воздуха (канал, жалюзи, отражатель). Вид системы зависит от аэродинамического сопротивления движению воздуха и взаимного расположения воздухоохладителя и продукта. В зависимости от компоновки последних воздух может циркулировать вдоль или поперек объема, занимаемого продуктом и системой транспортирования. Холодный воздух подается на продукт обычно фронтально. Длина циркуляционного контура должна быть по возможности меньше, так как при этом будут меньше аэродинамическое сопротивление и равномерней поле температур и скоростей.

Вид системы транспортирования продукта зависит в основном от целевого назначения аппарата (вида замораживаемого продукта) и его производительности. Это могут быть лотки (противни), ленты конвейеров разного типа, поток воздуха (флюидизационный слой) или комбинация из указанных средств транспортирования, например поток воздуха и лента конвейера.

Тележечные аппараты предназначены для замораживания продуктов, находящихся на тележках. Продукт (мясо, рыба, птица, овощи) укладывают на металлические противни (лотки) с зазором необходимым для прохода воздуха, и устанавливают на полки тележки. Тележка конвейером (или вручную) закатывается в аппарат через загрузочную дверь, а после замораживания продукта выкатывается. С тележки противни снимают, продукт извлекают, упаковывают (если это необходимо) и на-

правляют на хранение. Некоторые виды неупакованных продуктов (мясо, рыба) примерзают к противню. В этом случае противень нагревают, погружая на короткое время в теплую воду или орошая водой. После очистки и санитарной обработки противни и тележку возвращают для загрузки.

Тележечные аппараты универсальны, просты по конструкции, но требуют значительных затрат ручного труда. Их применяют для замораживания различных по форме и размерам продуктов, поступающих на обработку сезонно и в относительно небольших количествах.

Конвейерные морозильные аппараты предназначены для замораживания продукта, находящегося непосредственно на конвейерной ленте или в металлических формах, закрепленных на ленте. Конвейер может быть цепным, лотковым, пластинчатым, ленточным с электрическим или гидравлическим приводом, действующим непрерывно или циклически. Их может быть несколько. Конвейерные аппараты являются самым распространенным видом морозильных аппаратов.

По сравнению с тележечными они имеют большую производительность, более высокий уровень автоматизации, могут использоваться в составе технологических линий. В них замораживают продукты близкие по форме и размерам, в упаковке (картонная коробка, блок-форма) или без упаковки.

Аппараты с непрерывным конвейером разного типа (ленточным горизонтальным и спиральным, цепным) распространены наиболее широко, так как они универсальны, позволяют вести замораживание непрерывно и в составе технологической линии.

Морозильный аппарат с ленточными горизонтальными конвейерами показан на рис. 5.2. Продукт через загрузочное окно подается на верхний сетчатый конвейер, проходит зону интенсивного охлаждения и, достигнув конца аппарата, по желобу переводится на средний конвейер. Далее продукт поступает на нижний конвейер и, замороженный, выводится через разгрузочное окно. Каждый из конвейеров имеет индивидуальный привод, поэтому скорость движения продукта может изменяться в широком диапазоне, обеспечивая замораживание продуктов разной толщины.

Воздухоохладители, расположенные вдоль конвейеров в верхней части аппарата, обеспечивают поперечное движение воздуха. Причем более холодный воздух направляется на нижний конвейер, где находится продукт с наиболее низкой температурой, и затем, проходя через остальные, засасывается вентилятором.

В аппарате предусмотрены два циркуляционных воздушных контура: продольный — в зоне загрузки продукта и поперечный — в осталь-

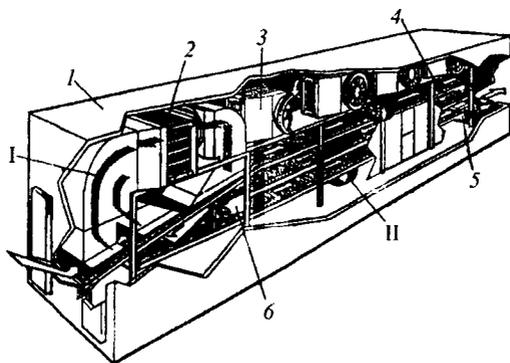


Рис. 5.2. Морозильный аппарат с ленточными конвейерами:

1 — теплоизоляционные панели; 2 — воздухоохладитель продольного циркуляционного контура I; 3 — воздухоохладитель поперечного циркуляционного контура II; 4 — верхний конвейер; 5 — нижний конвейер; 6 — средний конвейер

ном объеме аппарата. Первый контур обеспечивает быстрое охлаждение продукта, что особенно необходимо при поступлении продукта с высокой температурой, например обжаренного. Кроме того, он препятствует проникновению теплого воздуха через загрузочное окно.

Аппараты со спиральным конвейером широко применяют для замораживания в мясной, рыбной, молочной промышленности. Они универсальны и в них можно замораживать россыпью все продукты, для которых не подходят аппараты другого вида. Существует несколько их модификаций, отличающихся размерами, производительностью, схемой циркуляции воздуха (горизонтальная, вертикальная), числом приводных барабанов (два барабана позволяют загружать и выгружать продукт на одной высоте) и др. Аппарат с ленточным спиральным конвейером показан на рис. 5.3. Сетчатая лента из некорродирующей стали с продуктом, скользя по направляющим, поднимается по спирали вдоль вращающегося барабана, который приводит ее в действие за счет силы трения. В верхней части аппарата лента выходит за пределы теплоизоляционного ограждения для выгрузки замороженного продукта и вновь возвращается к загрузочной стороне, пройдя санитарную обработку.

Воздух в аппарате движется через все ярусы сетчатой ленты конвейера, постепенно нагреваясь и насыщаясь влагой. Поэтому потеря массы продукта в нем ниже, чем в аппаратах с горизонтальным движением воздуха.

Аппараты с циклически движущимся конвейером предназначены для поточного замораживания однотипных крупнокусковых продуктов (мя-

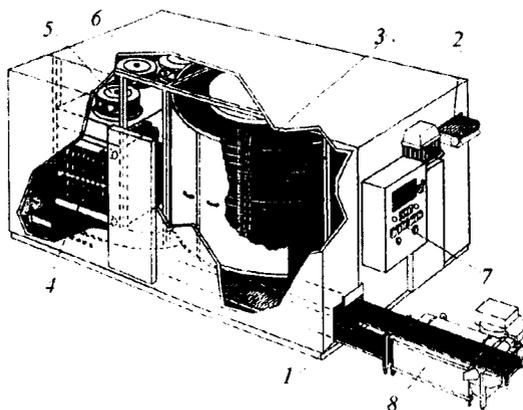


Рис. 5.3. Морозильный аппарат со спиральным конвейером:

1 — вход продукта; 2 — выход продукта; 3 — лента спирального конвейера из некорродирующей стали; 4 — воздухоохладитель; 5 — вентилятор; 6 — теплоизоляционные панели; 7 — пульт управления и диагностики; 8 — устройство для мойки ленты конвейера

со, рыба, птица, готовые блюда) в упаковке (картонной коробке). Такие аппараты характеризуются большой продолжительностью замораживания (4–6 ч) и производительностью (до 20 т/ч). Они работают автоматически в составе технологической линии.

Аппарат имеет большое число механизмов для горизонтального и вертикального перемещения кареток, работа которых взаимосвязана и запрограммирована.

Применение циклически движущегося конвейера позволяет компактно решить конструкцию аппарата и повысить его долговечность, так как отсутствуют непрерывно движущиеся элементы, однако при этом усложняется конструкция аппарата и техническое обслуживание.

5.2 Контактные морозильные аппараты

Контактные аппараты предназначены для замораживания продукта, находящегося в непосредственном контакте с охлаждающей металлической поверхностью, которая в свою очередь охлаждается циркулирующей средой.

В этих аппаратах при хорошем тепловом контакте с продуктом разность температур между продуктом и охлаждающей средой будет меньше, чем в воздушных аппаратах, а плотность теплового потока — больше.

Сравнение относительных показателей работы аппаратов, в которых продукт замораживается воздухом и на металлической поверхности, по-

казывает, что при замораживании продукта на поверхности требуется отвести теплоты в 1,4–1,5 раза меньше, затратить электроэнергию меньше в 1,3–1,5 раза, а потеря массы продукта сокращается в 3–5 раз.

Однако столь эффективную работу аппарата при замораживании продукта в контакте с металлической поверхностью можно обеспечить при соблюдении ряда условий: площадь поверхности контакта должна быть максимальной, а термическое сопротивление — минимальным. Поэтому продукт должен иметь правильную геометрическую форму и быть подпрессован давлением до 70 кПа, что практически исключает наличие воздушных прослоек в месте контакта. На время замораживания продукта влияет также интенсивность теплоотдачи от металлической поверхности к охлаждающему веществу и термическое сопротивление продукта. Так, при непосредственном охлаждении хладагентом время сокращается в среднем на 25 %. Толщина продукта должна быть увязана с температурой охлаждающего вещества или наоборот: чем интенсивней теплоотвод, тем меньше должна быть толщина продукта.

При замораживании неупакованного влажного продукта (мяса, рыбы) он примерзает к поверхности металла. Поэтому для извлечения замороженного продукта металлическая поверхность должна нагреваться до положительной температуры, например с помощью горячего пара хладагента. В результате усложняется производственный процесс, увеличиваются энергетические затраты, повышается температура продукта. Для существенного снижения силы сцепления продукта с металлом необходимы: упаковка продукта; нанесение на поверхность металла антиадгезионного покрытия (полиэтилена, фторопласта); поддержание низкой температуры кипения хладагента (-60°C и ниже).

Продукт в аппарате может замораживаться, находясь в одно- или двухстороннем контакте с охлаждающей металлической поверхностью. В связи с этим различают плиточные, барабанные и ленточные аппараты.

Плиточные аппараты предназначены для замораживания продуктов между двумя металлическими плитами, внутри которых циркулирует охлаждающая среда. Плиты могут располагаться горизонтально, вертикально, а также радиально на вращающемся валу.

Плиточные аппараты применяют для замораживания твердых и жидких продуктов в виде блоков, например, рыбы, рыбного филе, морепродуктов, кускового мяса, субпродуктов, нарезанных овощей, фруктовую мякоть и др.

Морозильные аппараты с горизонтальными плитами имеют несущий каркас из оцинкованной стали, к которому крепится теплоизоляционное ограждение из панелей типа сэндвич с дверными створ-

ками (рис. 5.4). Внутри располагаются плиты из алюминиевого сплава, ограниченно перемещающиеся по вертикали с помощью гидравлического привода, которые соединены шлангами с системой охлаждения. Плиты охлаждаются циркулирующей средой (хладагентом или хладоносителем).

Продукт помещают в металлические (из алюминиевого сплава, некорродирующей стали) формы (блок-формы) или картонные коробки приблизительно одинаковой высоты, конвейером подают к аппарату и через открытую дверь загружают аппарат, помещая формы (коробки) между плитами. Плиты загруженного аппарата сближаются на минимальное расстояние, которое несколько меньше начальной высоты загруженных форм (коробок), чтобы создать приемлемый контакт между продуктом и плитами. Дверные створки аппарата закрывают и включают систему охлаждения. После окончания процесса замораживания выключают систему охлаждения, открывают дверные створки, раздвигают плиты и удаляют продукт.

Продолжительность замораживания при температуре кипения хладагента -40°C блока рыбного филе высотой (толщиной) 25 мм, упакованного в полимерную пленку, составляет 50 мин и 65 мин, если филе упаковано в картонную коробку с полимерной пленкой. Аппарат приблизительно раз в неделю останавливают для удаления инея с поверхности плит.

В аппаратах с горизонтальными плитами труднее, чем в других плиточных, механизировать операции загрузки и выгрузки продукта. Поэтому они, как правило, периодического действия. Но комплекс из нескольких аппаратов позволяет обеспечить поточную работу в автоматическом режиме.

Морозильные аппараты с вертикальными плитами включают: раму из оцинкованной стали; вертикально расположенные охлаждающие плиты; устройства для герметизации межплиточных полостей, для загрузки и разгрузки (рис. 5.5). Продукты закладывают, засыпают или

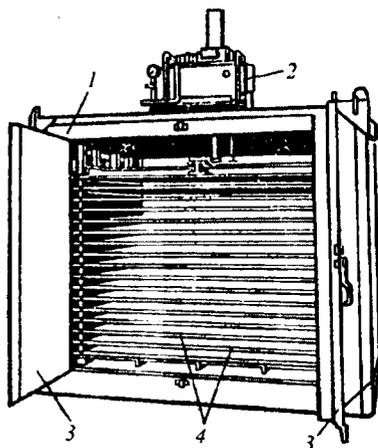


Рис. 5.4. Морозильный аппарат с горизонтальными плитами:

1 — теплоизоляционные панели; 2 — гидравлический привод; 3 — дверные створки; 4 — охлаждаемые плиты

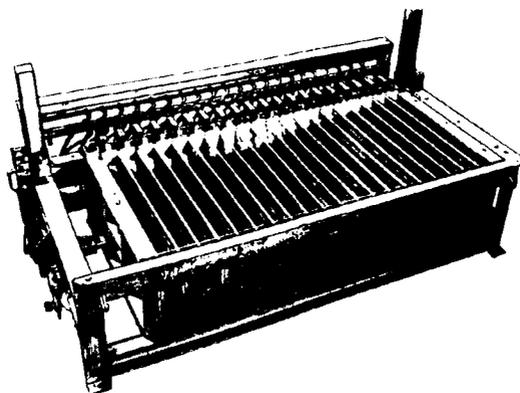


Рис. 5.5. Морозильный аппарат с вертикальными плитами

заливают (фруктовую и овощную пульпу, йогурт) сверху в полости между охлаждающими плитами, установленными на расстоянии, равном толщине блока, которая может быть различной (50, 75 и 100 мм).

После замораживания продукта блоки отключают от системы охлаждения и подключают к системе нагрева для отделения продукта от плит. Плиты нагревают горячим паром хладагента или нагретым хладоносителем. Далее с помощью гидравлической системы перемещаются плиты, открываются полости и блоки подаются вверх для разгрузки. Затем блоки направляются на упаковку и хранение.

Роторные морозильные аппараты имеют радиально расположенные плиты, вращающиеся на валу (рис. 5.6). Продукт в этих аппаратах замораживается почти непрерывно, что повышает производительность и обеспечивает постоянство тепловой нагрузки на холодильную установку. Радиальное расположение плит и их вращение способствуют равномерному распределению хладагента по плитам.

Роторный аппарат имеет опорную раму, теплоизоляционное ограждение, ротор с секциями, системы охлаждения, дозирования, загрузки и разгрузки, автоматического управления. Секция включает три плиты из алюминиевого сплава с каналами для циркуляции хладагента. Хладагент из циркуляционного ресивера подается насосом через торец вала ротора, распределяется по плитам, отводится через другой торец и поступает в циркуляционный ресивер. Между средней (неподвижной) и боковыми плитами в ячейках размещаются две формы из алюминиевого профиля с продуктом.

Аппарат работает тактами. Оператор укладывает в форму упаковочный материал, загружает дозу продукта (мясо, творог, меланж), формирует и упаковывает четыре блока. Затем форма подается в загрузочное

устройство. Секция с замороженным продуктом устанавливается в положение для разгрузки, раскрывается и форма с продуктом выгружается. Форма с продуктом, подготовленная для замораживания, загружается в секцию, которая закрывается. Такт закончен, и механизм поворота переводит ротор в положение для разгрузки (загрузки) следующей секции. Таким образом, каждая секция последовательно разгружается и загружается за один оборот ротора: сначала верхняя плита, а затем нижняя.

Ленточные морозильные аппараты предназначены для замораживания влажных (мясные и рыбные) и жидких (концентрат кофе, пюреобразные, соки) продуктов на конвейерной гладкой ленте из некорродирующей стали непрерывно движущейся за время прохождения теплоизолированной охлаждаемой части аппарата. В охлаждаемой части аппарата под лентой располагается бак, заполненный хладоносителем настолько, что движущаяся лента конвейера плавает на поверхности хладоносителя, подаваемого через форсунки с избытком. Аппараты обладают относительно высокой интенсивностью замораживания, например, рыбное филе толщиной 13 мм замораживается за 10 мин.

Некоторые модели таких аппаратов оснащают и воздухоохладителями, обдувающими продукт на ленте. В результате производительность аппарата увеличивается приблизительно на 25 %.

Барабанные морозильные аппараты используют для замораживания полуфабрикатов с влажной поверхностью и пастообразных продуктов на поверхности вращающегося барабана, в каналах которого циркулирует хладагент.

Аппарат имеет теплоизоляционное ограждение, полый барабан из некорродирующей стали с каналами, расположенными по цилиндрической образующей, нож для скалывания продукта, электрический привод, загрузочный и разгрузочный конвейеры.

Продукт подается загрузочным конвейером в аппарат, падает с конвейера на поверхность вращающегося барабана и примораживается. Продукт замораживается за один оборот барабана, скалывается ножом в верхней точке и поступает на разгрузочный конвейер. Скорость вращения барабана можно изменять (один оборот за 5–20 мин) в зависи-

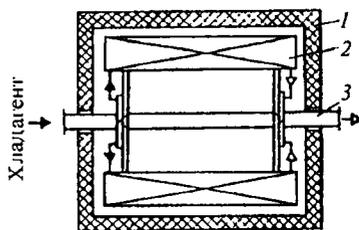


Рис. 5.6. Схема роторного морозильного аппарата:

- 1 — теплоизоляционные панели;
- 2 — секция с охлаждаемыми плитами;
- 3 — вал ротора

мости от вида и толщины продукта. Соответственно изменяется и производительность аппарата.

5.3 Флюидизационные и иммерсионные морозильные аппараты

Флюидизационные морозильные аппараты предназначены для замораживания продукта в восходящем потоке воздуха, находящегося во взвешенном состоянии. В таких аппаратах продукты замораживаются достаточно быстро и без деформации, что важно для продуктов влажных, с нежной консистенцией, которые могут слипаться. Во флюидизационном слое (во взвешенном состоянии) можно замораживать только мелкоштучные продукты или продукты, нарезанные на мелкие кусочки, которые близки по форме, размерам (20–25 мм) и массе, например, зеленый горошек, кубики моркови, ломтики яблок, клубнику, малину, смородину и др. К недостаткам этих аппаратов можно отнести следующее: потеря массы продукта вследствие испарения; быстрый рост инея на поверхности воздухоохладителей; значительный расход энергии на привод центробежных вентиляторов; потребность в относительно низкой температуре кипения и большие затраты на работу холодильной установки.

Аппарат работает следующим образом (рис. 5.7). Продукт после мойки подается в загрузочное устройство, имеющее вибрирующую решетку для удаления воды. Далее он подсушивается, чтобы не смерзался, и сверху поступает на первый сетчатый конвейер, продуваемый воздухом снизу, на котором продукт подмораживается во взвешенном состоянии. Приобретая достаточную механическую прочность, продукт поступает на второй сетчатый конвейер, на котором он домораживается в плотном слое, после чего выводится из аппарата и упаковывается.

Конвейеры имеют независимый привод (и систему охлаждения), что позволяет замораживать продукты с разной толщиной и начальной температурой.

Аппарат периодически останавливают для оттаивания охлаждающих батарей и санитарной обработки. Мойка и санитарная обработка конвейерных лент проводится непрерывно или периодически. Время непрерывной работы аппарата составляет 8–10 ч, а время оттаивания — 0,5–1 ч в сутки.

Иммерсионные морозильные аппараты замораживают продукты, погруженные в охлаждающую жидкость. Замораживание продуктов в жидкости характеризуется более интенсивным отводом теплоты независимо от геометрической формы, в отличие от замораживания в контакте с металлической поверхностью и в потоке воздуха. Поэтому в жидкой

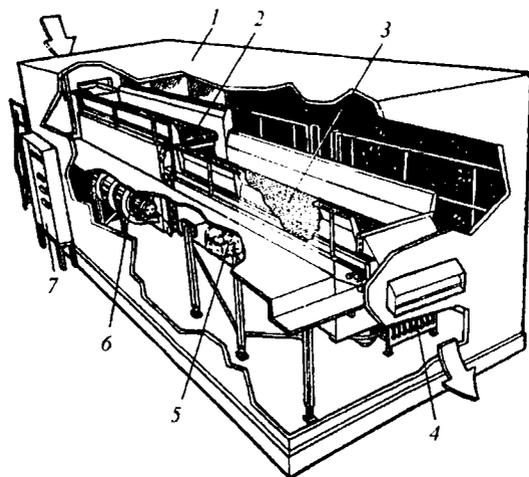


Рис. 5.7. Флюидизационный морозильный аппарат:

- 1 — теплоизоляционные панели; 2 — перфорированный поддон; 3 — сетчатая лента конвейера; 4 — воздухоохладитель; 5 — осевой вентилятор; 6 — центробежный вентилятор; 7 — щит управления

среде обычно замораживают продукты неправильной формы и значительной толщины (птицу, крупнокусковое мясо). Однако возникающие при этом трудности, связанные с нежелательным проникновением охлаждающей жидкости в продукт, с соблюдением санитарно-гигиенических требований, с поддержанием концентрации охлаждающей жидкости и отсутствием доступных нетоксичных и инертных жидкостей, ограничивают применение таких аппаратов.

В качестве охлаждающих жидкостей применяют органические и неорганические вещества (водные растворы углеводов, хлорида натрия, пропиленгликоля, этиленгликоля, этанола, формиата калия, суспензии водного льда и др.), разрешенные к применению органами здравоохранения.

Схема иммерсионного аппарата показана на рис. 5.8. В нижней части теплоизолированного корпуса находится бак, заполненный, например, водным раствором пропиленгликоля, с испарителем холодильной установки для охлаждения раствора, перемешиваемого мешалкой. Ниже уровня жидкости в баке над испарителем находятся две сетчатые перегородки, образующие канал, по которому движется замораживаемый продукт. В верхней части аппарата над баком находится конвейер, тяговые цепи которого оборудованы поперечно расположенными вертикальными решетчатыми пластинами, которые, двигаясь между сетчатыми перегородками, транспортируют продукт в бак.

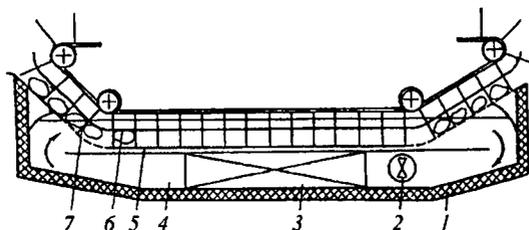


Рис. 5.8. Схема иммерсионного морозильного аппарата:

1 — теплоизоляционное ограждение; 2 — мешалка; 3 — испаритель; 4 — бак с хладоносителем; 5 — нижняя сетчатая перегородка; 6 — верхняя сетчатая перегородка; 7 — решетчатые пластины конвейера

Куски мяса толщиной 22–46 мм, упакованные в пленку под вакуумом, подаются из упаковочного автомата через загрузочное окно в аппарат. Продукт попадает в канал, образованный двумя сетчатыми перегородками, захватывается пластинами конвейера и транспортируется по уровню жидкости, так как верхняя перегородка препятствует его всплытию. Не доходя до края бака, продукт выводится из хладоносителя для того, чтобы удалить с поверхности жидкость. Далее продукт поступает на моечный конвейер, где орошается водой в течение минуты.

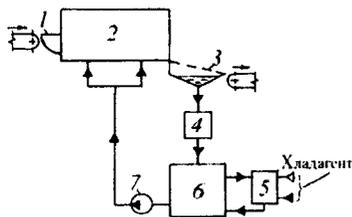


Рис. 5.9. Схема гидрофлюидизационного морозильного аппарата:

1 — подача продукта; 2 — теплоизолированный бак; 3 — разгрузочное устройство; 4 — фильтр; 5 — устройство для охлаждения жидкости и генератор льда; 6 — бак для аккумуляции дисперсного раствора льда; 7 — насос

Добавление к охлаждающей жидкости мелкодисперсного водного льда может существенно улучшить работу аппарата, так как повышается интенсивность теплоотдачи от продукта [до 2 кВт/(м² · К)], сохраняется постоянство температуры охлаждающей жидкости, сокращается время замораживания, например, при температуре -25°C время охлаждения продуктов от 25 до -18°C составляет: 8–9 мин клубники, абрикосов; 1 мин зеленого горошка, клюквы. Метод замораживания в таком дисперсном растворе водного льда назван гидрофлюидизационным.

Схема реализации этого метода показана на рис. 5.9. Продукт поступает через загрузочное окно на конвейер теплоизолированного аппарата 2, который перемещает его через дисперсный раствор льда с температурой -25°C в течение времени, требуемого для замораживания. Заморо-

роженный продукт поступает в разгрузочное устройство 3, где отделяется от раствора и направляется на следующую операцию. Охлаждающий раствор очищается в фильтре 4 и направляется в бак 6, где смешивается с дисперсным раствором льда, поступающим из устройства 5, которое охлаждается холодильной установкой. Насос 7 подает дисперсный раствор льда в теплоизолированный бак 2.

5.4 Криогенные морозильные аппараты

Это аппараты, в которых продукт замораживается при непосредственном контакте с веществами, которые изменяют свое фазовое состояние (кипят, сублимируют) при криогенной (в данном случае более низкой по сравнению с другими) температуре. В результате высокой интенсивности теплоотвода продукт в них замораживается быстро (5–10 мин), что обеспечивает хороший товарный вид и малые потери массы (до 0,5%). Такие аппараты просты по конструкции, компактны (площадь занимают в 6 раз меньше, чем воздушные), потребляют мало электроэнергии (в 10 раз меньше), просты в обслуживании, быстро выходят на заданный режим работы.

Однако этим аппаратам свойственны большие эксплуатационные затраты, связанные с потерей в атмосферу охлаждающего вещества. Поэтому криогенные аппараты целесообразно применять для замораживания тех продуктов, природные свойства которых можно сохранить только при высокой скорости замораживания, например, растительные продукты с нежной консистенцией (малина, клубника, кусочки цитрусовых), продукты с панированной поверхностью. Но экономичность работы аппарата зависит и от других факторов, например, цены на оборудование, продукты и охлаждающее вещество, производительности аппарата, годовой наработки аппарата и др. Поэтому в настоящее время в таких аппаратах замораживают различные продукты: цыплят, полуфабрикаты и готовые блюда, мясные пироги, сосиски, бекон, морепродукты, хлебобулочные изделия и др.

В качестве охлаждающих веществ применяют жидкие азот и диоксид углерода (CO_2).

Азотные аппараты, в которых продукт замораживается азотом, появились первыми и относительно широко распространились в начале 1960-х годов в промышленно развитых странах, так как азот являлся почти побочным продуктом при производстве кислорода.

Жидкий азот при атмосферном давлении кипит при температуре $-195,8^\circ\text{C}$, имеет скрытую теплоту парообразования $199,8$ кДж/кг, яв-

ляется природным веществом, инертным по отношению к продуктам, конструкционным материалам.

Существует различные виды азотных аппаратов, отличающиеся назначением, методами замораживания и производительностью. Основная часть выпускаемых аппаратов является универсальной. Замораживание продуктов осуществляют следующими методами: погружением в жидкость, орошением, в потоке газообразного азота либо при их комбинации.

Замораживать продукт при очень большой разности температур нецелесообразно с термодинамической точки зрения, кроме того, велика вероятность растрескивания и деформации продукта вследствие внутренних напряжений, возникающих из-за неравномерного по объему льдообразования. Охлаждение продукта в жидкости при большой разности температур происходит при пленочном режиме кипения азота, которому соответствует низкая интенсивность теплоотдачи. Если охлаждать продукт только жидкостью, то охлаждающая способность азота реализуется приблизительно на 50%, так как полезно используется только скрытая теплота парообразования, и расходуется большая масса азота (свыше 2 кг на 1 кг продукта).

Экономичней замораживать продукт в две стадии: предварительно посредством газообразного азота и домораживать в жидком азоте. При этом расход жидкого азота уменьшается, а длина аппарата увеличивается приблизительно в 2 раза. В последнее время применяют аппараты, в которых продукт замораживается в газообразном потоке и путем орошения. Расход жидкого азота сокращается до 1,5 кг на 1 кг продукта с учетом потери при хранении, составляющей до 30% от расхода.

Азотные аппараты имеют легкий несущий каркас, теплоизоляционное ограждение из панелей типа сэндвич или с вакуумной изоляцией, конвейер (ленточный, спиральный) для транспортирования продукта через разные температурные зоны, загрузочный и разгрузочный конвейеры, системы охлаждения и газораспределения. Они могут работать в составе технологической линии. Система охлаждения в общем случае состоит из емкостей для хранения жидкого азота, распределительных форсунок, сосуда для сбора жидкого азота, насоса.

Современный азотный аппарат фирмы АГА с ленточным (из металлической сетки) конвейером, с минимальным расходом азота, способный работать в автоматическом режиме и в составе технологической линии, показан на рис. 5.10.

Жидкий азот разбрызгивается в аппарате в небольшом количестве с целью экономии. Поэтому продукт охлаждается в основном газообразным азотом, а интенсивность теплоотвода обеспечивается значитель-

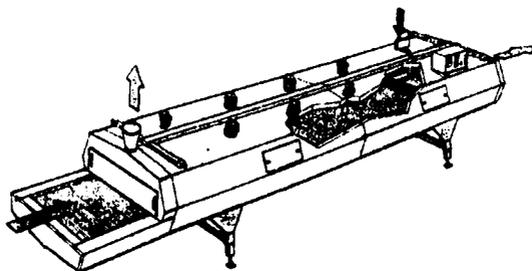


Рис. 5.10. Азотный морозильный аппарат

ной скоростью движения азота, создаваемой большим числом вентиляторов.

Диоксидуглеродные морозильные аппараты применяют для замораживания практически всех видов продукта (мясо, рыба, птица, овощи, готовые блюда) в диапазоне температур от -73°C . CO_2 при атмосферном давлении сублимирует при температуре $-78,5^{\circ}\text{C}$, имеет скрытую теплоту сублимации 574 кДж/кг. CO_2 является природным веществом, инертным по отношению к продуктам, конструкционным материалам. Но он обладает некоторыми преимуществами по сравнению с азотом, например, CO_2 можно хранить без потери вследствие испарения и возвращать повторно в работу до 80% от расхода путем конденсации; обладает бактерицидным действием в газообразном состоянии, к тому же он дешевле.

Аппараты, охлаждаемые CO_2 , имеют несущий каркас, теплоизоляционное ограждение из панелей типа сэндвич, конвейеры для транспортирования продукта, загрузки и разгрузки, системы охлаждения и газораспределения. Система охлаждения состоит из емкостей для хранения жидкого CO_2 , распределительных форсунок. CO_2 транспортируют и хранят в жидком состоянии в теплоизолированных сосудах при температурах $-18 \dots -30^{\circ}\text{C}$, которым соответствуют давления $1,4-2,1$ МПа, поддерживаемые с помощью холодильных агрегатов. В результате исключаются потери CO_2 при хранении и упрощается его подача в охлаждаемый объем, так как используется естественная разность давлений. Жидкий CO_2 подают из сосуда, расположенного по возможности ближе к аппарату, через форсунки в охлаждаемый объем. При дросселировании в форсунках образуются газ и твердая фаза в виде снега, который обычно осаждается и накапливается на продукте и элементах конструкции аппарата, образуя плотный слой. Плотный слой CO_2 нежелателен даже на поверхности продукта, так как газовая прослойка в зоне контакта с продуктом снижает интенсивность теплоотвода.

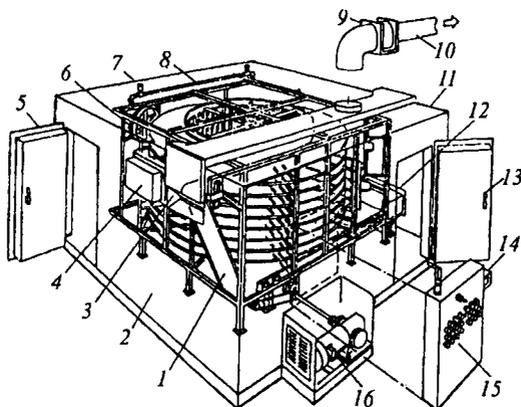


Рис. 5.11. Дьюксидуглеродный морозильный аппарат:

1 — спиральная конвейерная лента из нержавеющей стали; 2 — пространство для технического обслуживания; 3 — выход продукта; 4 — крышка люка; 5 — входная дверь; 6 — вентилятор; 7 — соленоидный вентиль около форсунки; 8 — линия подачи жидкого CO_2 ; 9 — вытяжной вентилятор; 10 — вытяжной канал; 11 — теплоизоляционные панели; 12 — вход продукта; 13 — выходная дверь; 14 — приборы автоматического регулирования; 15 — пульт управления аппаратом; 16 — привод конвейера

Эту проблему решают двумя методами: продукт замораживают или в контакте с твердой фазой, перемешивая смесь продукта и снега для увеличения интенсивности теплоотвода, или в газообразной с температурой выше -78°C (обычно $-60 \dots -70^\circ\text{C}$), при которой твердая фаза превращается в газообразную. Первый метод реализуется в компактных аппаратах для замораживания продуктов (мясо, птица), качество которых не изменяется в результате перемешивания, например шнеком, в процессе замораживания, а второй — универсальных аппаратах большой производительности, например с ленточным или спиральным конвейером (рис. 5.11).

Замораживание продуктов в таких аппаратах происходит быстро, например, рубленые котлеты замораживаются 7 мин, а порционные куски мяса в пленке — 12 мин. Расход CO_2 зависит от многих причин, но в среднем составляет 1 кг на 1 кг продукта.

5.5 Льдогенераторы

Для кратковременного хранения и производства ряда продуктов требуется большое количество водного льда. Его производят с помощью специализированного оборудования, называемого льдогенератором.

Льдогенераторы подразделяются: по производительности, по способу производства льда (периодического и непрерывного действия); по виду производимого в них льда (блочного, плиточного, чешуйчатого льда и т. д.) и др.

В льдогенераторах периодического действия весь цикл производства льда состоит из двух периодов намораживания на поверхности и удаления обычно путем нагревания ранее охлаждаемой поверхности. В первый период на охлаждаемой поверхности аппарата намораживают слой льда необходимой толщины, причем лед прочно примерзает к этой обычно металлической поверхности. Во второй период поверхность, к которой примерз лед, нагревают, в результате чего подтаивает пограничный слой льда небольшой толщины (0,3–1 мм), что позволяет льду отделяться от поверхности под действием собственной силы тяжести.

В льдогенераторах непрерывного действия замороженный лед срезают с поверхности ножом, шнеком, фрезой. В результате не требуются время на оттаивание и энергия на периодическое нагревание и охлаждение некоторых элементов льдогенератора.

Основными направлениями совершенствования льдогенераторов являются интенсификация процесса производства льда главным образом за счет уменьшения толщины замораживаемого слоя, уменьшение расхода энергии и автоматизация.

Льдогенераторы чешуйчатого льда. Они позволяют получать лед небольшой толщины (0,5–4 мм) в непрерывном процессе, срезая его с охлаждающей поверхности ножами, шнеками, фрезами. Это обеспечивает интенсивное производство льда.

Существуют различные модели льдогенераторов чешуйчатого льда, но наиболее широко распространены роторные (ротационные) льдогенераторы, у которых лед намораживается на цилиндрической поверхности, охлаждаемой кипящим хладагентом. Схема такого льдогенератора показана на рис. 5.12.

Вода с помощью водораспределителя 3 наносится на поверхность охлаждаемого цилиндра 2 и замерзает. Образующийся лед срезается с поверхности вращающегося цилиндра 2 ножами 8. Срезанные чешуйки льда поступают в накопитель. Излишек воды стекает в бак 4, откуда вода подается насосом 5 в водораспределитель 3.

Льдогенераторы блочного льда. Они предназначены для производства льда в виде блоков толщиной не менее 0,1 м и массой 25 кг и более. Это аппараты периодического действия.

Достоинства блочного льда — незначительные потери льда и большая плотность укладки при хранении. Основным недостатком такого

льдогенератора является большая продолжительность замораживания воды в формах из-за значительной толщины (более 3 ч).

Такие льдогенераторы применяли там, где требуется хранить большое количество льда длительное время, например, на специализированных предприятиях-холодильниках, снабжающих льдом рыболовные суда, вагоны-ледники.

Льдогенераторы плиточного льда. Они производят плиточный лед толщиной 8–15 мм. Это аппараты периодического действия.

Запас льда может храниться в виде плит, но в последнее время предпочтение отдается колотому льду, транспортировать который для хранения и использования проще.

Эти льдогенераторы используют на холодильниках и судах.

Схема плиточного льдогенератора фирмы Finsam показана на рис. 5.13. Эти аппараты комплектуют холодильным агрегатом, работающем на

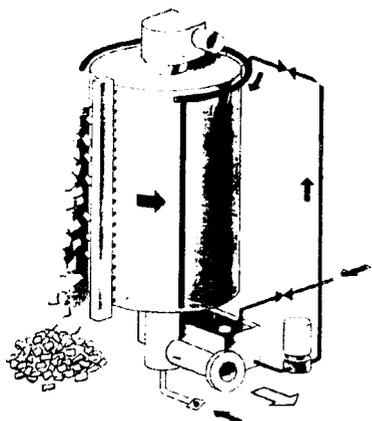


Рис. 5.12. Схема льдогенератора чешуйчатого льда:

1 — привод цилиндра; 2 — охлаждаемый цилиндр; 3 — водораспределитель; 4 — водяной бак; 5 — водяной насос; 6 — отвод хладагента; 7 — подвод хладагента; 8 — ножи

R22, R404A, R717, на заводе-изготовителе. Такие комплексы универсальны, так как позволяют изменять температуру получаемого льда, толщину плит, степень дробления льда.

Плиточный лед 1 получают на вертикальной плите 2, охлаждаемой кипящим хладагентом, которая орошается водой из водораспределителя 3. В момент, когда толщина льда достигнет заданного значения, прекращается подача жидкого хладагента по линии 5 и охлаждение пластин, а начинается их нагревание горячим паром хладагента по линии 4. Плита льда 1, подтаявшая на поверхности контакта с обогреваемой плитой 2, сползает на наклонный поддон 9 и далее в дробилку 7, производящую лед требуемого размера. Избыток воды отводится в бак 8, пополняемый из водопровода, откуда насосом 9 подается в водораспределитель 3. Затем прекращается нагревание и начинается режим замораживания. Лед производится непрерывно, так как в аппарате несколько пластин, работающих со смещенными режимами.

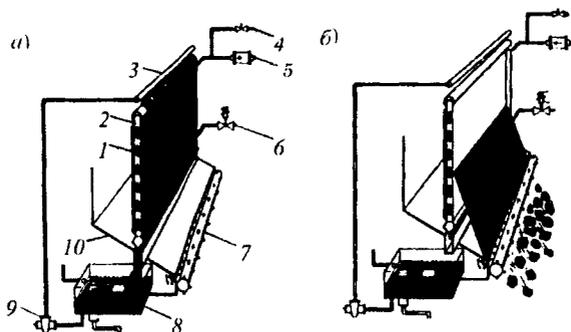


Рис. 5.13. Схема плиточного льдогенератора фирмы Finsam:

а — в режиме намораживания; б — в режиме получения льда

1 — плита льда; 2 — охлаждающая плита; 3 — водораспределитель подвод хладагента; 4 — подача горячего пара хладагента; 5 — подача жидкого хладагента; 6 — отвод хладагента; 7 — дробилка льда; 8 — водяной бак; 9 — водяной насос; 10 — наклонный поддон

5.6 Сублимационные установки

Сублимационная установка — это комплекс функционально взаимосвязанного оборудования для выполнения в регламентированных условиях производства сублимационной сушки продуктов.

Этот метод консервирования имеет некоторые преимущества по сравнению с другими. Продукт можно хранить длительное время (несколько лет в герметичной упаковке) в обычных условиях, а снижение температуры хранения до $3-5^{\circ}\text{C}$ позволяет увеличить это время в 1,5–2 раза. Его можно быстро (за 5–10 мин) восстановить: штучный путем погружения в воду или другую жидкость без нагревания, а порошкообразный — добавлением к нему жидкости. Масса продукта меньше в 4–10 раз (в зависимости от вида), чем в естественном состоянии. Исходные свойства (вкус, цвет, аромат, консистенция, содержание витаминов, ферментов и др.) в таких продуктах сохраняются лучше, чем в консервированных путем тепловой сушки, стерилизации, замораживания. Однако ввиду значительной энергоемкости производства применение сублимационной сушки для консервирования продуктов ограничено.

Процесс сублимационной сушки может быть осуществлен при следующих условиях: большая часть воды в продукте находится в твердом состоянии, имеется разность парциальных давлений водяного пара в зоне фазового перехода и в окружающей продукт среде.

Для получения продукта высокого качества необходимо удалить 70–90% влаги при температуре в центре продукта $-10 \dots -30^{\circ}\text{C}$.

Оставшуюся часть влаги, более прочно связанную с продуктом, удаляют при температуре $-30 \dots -60^\circ\text{C}$ (в зависимости от свойств продукта).

Как известно, сублимация льда может происходить при атмосферном давлении. Однако с целью интенсификации процесса массопереноса сублимационную сушку продуктов проводят в условиях, при которых создается значительный потенциал переноса влаги, т. е. разность между парциальным давлением водяного пара, соответствующим температуре продукта, и парциальным давлением в среде, окружающей продукт. Для поддержания указанных условий температура продукта должна иметь определенное значение, которое изменяется подводом теплоты к продукту в количестве, достаточном для компенсации отнимаемой от продукта теплоты сублимации. Парциальное давление водяного пара в среде изменяется в результате отвода пара конденсацией на поверхности теплообменника с температурой $-30 \dots -60^\circ\text{C}$. При отрицательной температуре влага оседает на поверхности в виде льда, поэтому этот процесс часто называют десублимацией, а теплообменник — десублиматором. Для уменьшения сопротивления переносу влаги от продукта к десублиматору общее давление (с учетом парциальных давлений неконденсирующихся газов) среды поддерживается ниже атмосферного ($300-1$ Па). На интенсивность процесса сублимационной сушки существенно влияет толщина слоя продукта. Поэтому толщина слоя продукта, подготовленного к сушке, обычно не превышает 20 мм.

Промышленное производство продуктов сублимационной сушки организуется в соответствии со следующей технологической схемой. Продукт подготавливают к сушке: сортируют, моют подсушивают, нагревают, охлаждают, измельчают и укладывают в противни. Процесс сублимационной сушки подразделяется на три периода: установления заданного режима сушки (общего давления среды, температуры продукта), постоянной скорости сушки и уменьшающейся скорости сушки. Если продукт предварительно заморожен, то период установления режима начинается с понижения давления среды в сублиматоре до требуемого значения и заканчивается установлением заданной температуры продукта в результате подвода теплоты. Продолжительность этого периода 5–15 мин. Период постоянной скорости сублимационной сушки характеризуется наиболее интенсивным отводом влаги из продукта и подводом к нему теплоты. В период падающей скорости сушки уменьшается интенсивность влаговыделения и подвода теплоты.

Тепловой обработке (варке, жарению, бланшированию) подвергают значительную часть продуктов животного и растительного происхождения. В результате обработки достигается частичная или полная кулинарная готовность продукта, уничтожаются нежелательные микроор-

ганизмы. Многие продукты измельчают, чтобы увеличить площадь поверхности испарения и обеспечить однородность слоя.

Перед сушкой продукты замораживают. Скорость замораживания влияет на продолжительность сушки и качество продукта, так как размеры кристаллов льда влияют на качество продукта при его восстановлении. Приемлемое качество продукта получается при замораживании продукта в воздушном аппарате при температуре воздуха $-30 \dots -35^{\circ}\text{C}$.

Продукт можно замораживать непосредственно в сублиматоре при атмосферном давлении или путем испарения влаги из продукта в вакууме. Первый способ предполагает, что сублиматор сначала работает как морозильный аппарат, а затем как сушильный. Такое техническое решение усложняет конструкцию сублиматора и снижает его полезную вместимость. Второй способ лишен указанных недостатков первого, выгоден в энергетическом и технологическом отношении, но для замораживания большинства продуктов неприемлем, так как приводит к значительным изменениям физико-химических и структурных свойств.

Продукты помещают в противни, которые устанавливают на коньково расположенные полки напольных или подвесных тележек, которые загружают в сублиматор, представляющий собой герметичную камеру цилиндрической или прямоугольной формы из некорродирующей стали. Тележки размещают по центру камеры. В непосредственной близости от продукта или в контакте с ним находятся нагревательные элементы системы теплоподвода. Нагревательными элементами могут быть плиты с каналами, в которых циркулирует жидкий теплоноситель с температурой $120-170^{\circ}\text{C}$, трубчатые электронагреватели (ТЭНы) или нагревательные электролампы.

Внутри камеры могут располагаться секции десублиматора, являющегося испарителем холодильного агрегата, предназначенные только для отвода влаги либо для замораживания продукта и последующего отвода пара. Размещение десублиматора в камере увеличивает массоперенос при прочих равных условиях, но снижает полезную вместимость камеры. Размещение секций десублиматора в отдельном аппарате повышает гибкость работы установки, так как при относительно простой конструкции секции могут поочередно освобождаться ото льда, не нарушая режим работы установки. При этом скорость сушки снижается вследствие увеличения сопротивления массопереносу.

Секции десублиматора выполняют из труб или пластинчатых элементов с каналами, в которых циркулирует, как правило, хладагент, кипящий при температуре $-40 \dots -60^{\circ}\text{C}$. Десублиматор, как и любой теплообменник, должен быть компактным и работать эффективно: внутренняя поверхность должна полностью омываться жидким хладагентом, а

наружная — интенсивно и в максимальном количестве аккумулировать лед. Хорошие результаты дает последовательное, поочередное включение в режим вымораживания секций, начиная с последней по ходу движения водяного пара. Лед с поверхности десублиматора должен удаляться своевременно и с минимальным нарушением режима сублимационной сушки.

Вакуумная система, удаляющая из аппаратов неконденсирующиеся газы и частично водяной пар, содержит механические вакуумные насосы: пусковые и рабочие. Пусковые насосы имеют большую производительность и обеспечивают быстрое снижение давления до заданного значения, а рабочие — поддержание этого давления в процессе сушки.

Сублимационные установки могут быть периодического и циклического действия. Последние сложны по конструкции и в эксплуатации. Их использование может быть экономически оправдано при массовом производстве узкого ассортимента продуктов.

В промышленности применяют в основном установки периодического действия (рис. 5.14).

Такая установка включает горизонтальный цилиндрический аппарат 1, устройства для транспортирования и размещения продукта, теплоподвода и влагоотвода, вакуумирования, систему автоматического управления. Аппарат выполняет функции сублиматора и десублиматора и имеет крышку для загрузки и выгрузки тележек с продуктом, монорельсовый подвесной путь для размещения тележек, нагревательные панельные элементы 4, охлаждающие батареи десублиматора 2 и жалюзи 3. Система теплоподвода состоит из блоков питания и электрических нагревательных панельных элементов. Система влагоотвода включает вертикально-трубные батареи с поддонами для удаления талой воды, в которых поддерживается температура кипения -35°C , и жалюзи. Системы теплоподвода и влагоотвода состоят из двух подсистем с автономным управлением, расположенных симметрично относительно продольной плоскости камеры. Это позволяет одновременно сушить разные продукты по различным программам. Вакуумная система, включающая пусковые и рабочие механические вакуумные насосы, поддерживает рабочее давление 160 Па.

Технологический процесс сублимационной сушки мяса осуществляется следующим образом. Мясо, замороженное в морозильном аппарате, режут на ломтики толщиной 12 мм и укладывают на противни, устанавливаемые на консольные полки тележек, которые вкатывают в аппарат. Крышку аппарата закрывают и включают пусковые вакуумные насосы и систему влагоотвода. Приблизительно через 10 мин давление в аппарате снижается до 160–200 Па, а температура продукта — до

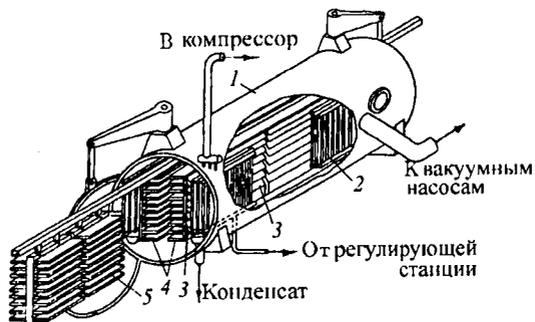


Рис. 5.14. Сублимационная установка:

1 — аппарат; 2 — батареи десублиматора; 3 — жалюзи;
4 — нагревательные элементы; 5 — тележки с продуктом

$-25 \dots -30^{\circ}\text{C}$. Включают нагревательные панели, выключают пусковые и включают рабочие вакуумные насосы. После окончания сушки (через 8–9 ч) тележки с продуктом выкатывают в помещение для разгрузки, где поддерживается низкая относительная влажность (не более 40%), и продукт упаковывают. Противни и тележки после санитарной обработки подают для очередной загрузки продуктом.

ТОРГОВОЕ ХОЛОДИЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

На предприятиях торговли и массового питания требуется кратковременное хранение сравнительно небольших запасов продуктов, необходимых для бесперебойной работы, а также охлажденных и замороженных продуктов, полуфабрикатов и готовых блюд для их демонстрации и реализации непосредственно в торговом зале. Для этих целей используют особое торговое холодильное оборудование.

Торговое холодильное оборудование развивается в направлении технического совершенства, многофункциональности, дизайна и эргономики.

Техническое совершенство направлено на: повышение точности поддержания температуры в охлаждаемом объеме; сокращение потребляемой энергии; снижение уровня шума, производимого работающим оборудованием; увеличение площади выкладки и обзорности демонстрируемых продуктов; использование экологически чистых материалов.

Для современного дизайна оборудования характерна плавность линий, использование в конструкции некорродирующей стали, анодированного алюминия, окрашенного эпоксидной порошковой эмалью горячим способом в разные цвета белого металла, пластика, а в отделке — еще мрамора и гранита.

В основе конструкции оборудования лежит модульный принцип — из модулей komponуют модельный (типоразмерный) ряд оборудования.

Торговое холодильное оборудование классифицируют по ряду признаков. В зависимости от выполняемых функций и конструктивных особенностей различают камеры, шкафы, лари, прилавки, витрины, прилавки-витрины, столы и др.

В зависимости от температуры воздуха в охлаждаемом объеме выделяют оборудование: высокотемпературное, предназначенное для хранения, демонстрации и продажи напитков и продуктов из тары-оборудования при температуре 4–12°С; среднетемпературное, предназначенное для хранения, демонстрации и продажи охлажденных продуктов при температуре 0–8°С; низкотемпературное, предназначенное для хранения, демонстрации и продажи замороженных продуктов при температуре не выше –18°С; комбинированное, включающее в себя средне- и низкотемпературное отделение; охлаждающее, предназначенное для охлаждения продуктов и замораживающее, предназначенное для замораживания продуктов при температуре не выше –25°С.

По виду доступа покупателя к продукту торговое холодильное оборудование подразделяется: на закрытое, в котором доступ к хранящемуся продукту осуществляется через дверки или раздвижные створки; открытое с доступом к продукту через открытый проем и специализированное с контейнерной загрузкой.

Торговое холодильное оборудование может быть в обычном климатическом (для районов с умеренным климатом) и тропическом исполнении. Первое должно быть работоспособно при температурах окружающего воздуха: 12–32°С, если оно закрытое, и 12–25°С, если открытое, а второе — при 12–42°С.

За рубежом оборудование классифицируют и по количеству потребляемой энергии, экономии которой придают большое значение. Например, закрывают открытые и закрытые стеклом проемы охлаждаемых объемов пластиковыми занавесками и покрывалами в ночное время, когда торговое предприятие не работает, уменьшают скорость движения воздушных завес. Оборудование оснащают системой автоматики на основе микропроцессоров, которая точнее поддерживает температуру воздуха, управляет оттаиванием охлаждающих устройств, следит за режимом работы, за плотностью прикрытия двери, техническим состоянием важных элементов, а также извещает световым и (или) звуковым сигналом на дисплее об отказах в работе оборудования.

Движение воздуха в охлаждаемом объеме может быть принудительным, если хранится упакованный продукт, или свободным, если хранится неупакованный продукт.

По расположению холодильного агрегата различают оборудование со встроенным (в его корпус) агрегатом и вынесенным.

Хладоснабжение торгового оборудования. Требуемая температура в торговом оборудовании может поддерживаться индивидуальным (моноблочным или двублочным) холодильным агрегатом или общим (общими) для нескольких единиц оборудования (рис. 6.1).

Автономность работы отдельных единиц торгового холодильного оборудования в ряде ситуаций является достоинством. Однако при большом числе работающих холодильных агрегатов значительно увеличиваются уровень шума и температура воздуха в торговом зале. Кроме того, в торговом зале труднее проводить техническое обслуживание и ремонт агрегатов. Поэтому на относительно больших торговых предприятиях холодильные агрегаты располагают за пределами торгового зала — в отдельном помещении, называемом машинным отделением.

При таком хладоснабжении, называемом центральным, увеличиваются затраты, связанные с наличием помещения, монтажом агрегатов и трубопроводов, но уменьшаются теплоприток в зале, расход электро-

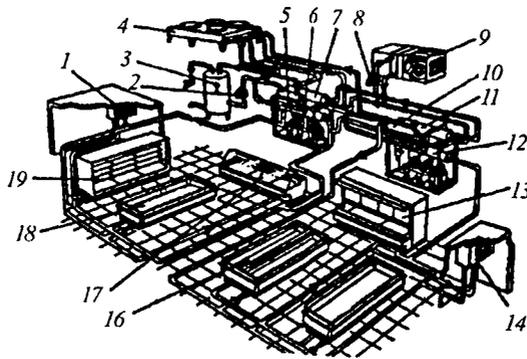


Рис. 6.1. Схема центральной торговой холодильной установки:

1 — среднетемпературная камера; 2, 8 — насосы; 3 — бак горячей воды; 4 — воздушный конденсатор; 5, 7, 11 — теплообменники; 6, 12 — блоки компрессорных агрегатов; 9 — калорифер; 10 — коллектор; 13 — низкотемпературная витрина; 14 — низкотемпературная камера; 15, 16 — низкотемпературные прилавки; 17, 19 — среднетемпературные витрины; 18 — среднетемпературный прилавок

энергии на работу холодильного оборудования и системы кондиционирования, сокращается число холодильных агрегатов, так как к агрегату подключены 2–4 единицы торгового оборудования.

Холодильные компрессоры работают в основном на следующих хладагентах: R22, R134a (высоко- и среднетемпературные) и R404A (низкотемпературные).

Оттаивание охлаждающих устройств производится автоматически, как правило, через определенный промежуток времени (например, через каждые 4 ч) с помощью электрических нагревателей или горячим паром хладагента, подаваемым из компрессора (компрессоров).

Торговое холодильное оборудование оснащают встроенным микропроцессорным блоком управления и мониторинга, позволяющим регулировать и контролировать температуру в охлаждаемых объектах, подавать жидкий хладагент в нужном количестве, управлять процессом оттаивания, защищать холодильное оборудование от опасного режима работы и сигнализировать о техническом состоянии оборудования.

6.1 Холодильные камеры и шкафы

Холодильные камеры. Они имеют большую вместимость (до сотен м³ или десятков тонн) и предназначены для хранения относительно большого запаса охлажденных (среднетемпературные камеры) и замороженных (низкотемпературные камеры) продуктов на несколько суток работы предприятия. Число камер и их вместимость зависят в основном

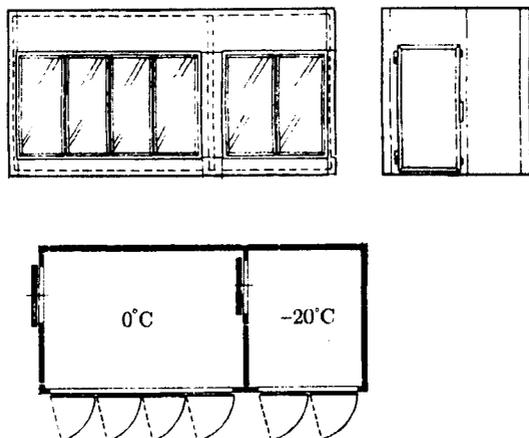


Рис. 6.2. Холодильная двухсекционная камера

от типа предприятия и величины товарооборота. На крупных предприятиях обычно имеется несколько (2–5) таких камер и они различного назначения (для мяса и птицы, рыбы, полуфабрикатов, овощей, фруктов).

Камеры обычно располагают в блоке складских помещений поблизости от торгового зала или кухни, но иногда их размещают и на открытой площадке.

Камеры оснащают в общем случае телескопическими полками, штангами с крюками для размещения продуктов, светильниками, дверями (прозрачными или непрозрачными), открытыми проемами с воздушными завесами. Камеры могут иметь в составе несколько охлаждаемых секций с разными температурами, в том числе и открытую витрину для хранения и продажи фасованных продуктов на полках и в контейнерах (рис. 6.2).

Дверь холодильной камеры имеет по периметру уплотнительную резину, механический замок для запираения камеры снаружи на ключ и механизм аварийного открывания двери изнутри. Дверь низкотемпературной камеры снабжена по периметру электрическим нагревателем, предотвращающим примерзание двери.

Камеры могут быть укомплектованы одно- или двублочным холодильным агрегатом, работающим в автоматическом режиме.

Торговый холодильный блок включает место для продавца и холодильную камеру. Он предназначен для розничной и мелкооптовой торговли и может устанавливаться как в помещении, так на открытой площадке.

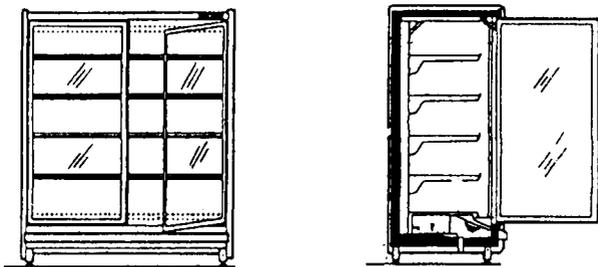


Рис. 6.3. Холодильный шкаф со стеклянной дверью

Холодильные шкафы. Они предназначены для хранения охлажденных (среднетемпературные шкафы) и замороженных (низкотемпературные шкафы) продуктов как в торговом зале рядом с рабочим местом продавца, так и в производственных цехах предприятий, выпускающих полуфабрикаты и готовые блюда, а кроме того для охлаждения и замораживания полуфабрикатов на заготовочных и доготовочных предприятиях.

Есть шкафы узкой специализации, например, для быстрого охлаждения или замораживания почти приготовленных блюд: процесс приготовления блюд прерывается (охлажденных до 4 ч, замороженных до 3 месяцев и более), чтобы в последующем в пароконвектомате доготовить блюдо за 10–15 мин; демонстрации и продажи напитков, вина, цветов в гостиницах и барах; для хранения контейнеров (сосудов) с напитками и пивом.

Конструкция шкафа, как правило, бескаркасная, полученная в результате вспенивания полиуретана между наружной и внутренней оболочками корпуса. Шкаф может состоять из нескольких секций.

Внутри теплоизолированной охлаждаемой части шкафа расположены съемные полки для размещения продуктов и контейнеров с продуктами, светильник и отверстия каналов, связывающих ее с воздухоохладителем. Дверь (двери) шкафа обычно самозакрывающаяся снабжена по периметру резиновым уплотнителем, запором и замком. Двери низкотемпературных моделей обогреваются по периметру, а у стеклянных дверей обогревается и наружный слой стеклопакета.

Шкаф со стеклянными дверями, имеющий вынесенный холодильный агрегат, представлен на рис. 6.3.

Вентилятор, расположенный в нижней части шкафа, забирает относительно теплый воздух из верхней части, занятой продуктом, подает в воздухоохладитель. Охлажденный воздух движется вверх вдоль зад-

ней стенки камеры, а часть потока отводится и движется горизонтально между полок с продуктом. Нагретый воздух всасывается вентилятором.

С введением в странах ЕС новых правил, требующих быстрого понижения температуры приготовленных продуктов от начальной 70 до конечной 7 или -18°C , появились шкафы для быстрого (шокового) охлаждения и (или) замораживания готовых продуктов. Одна из таких моделей со встроенным холодильным агрегатом показана на рис. 6.4. Здесь продукты охлаждаются воздухом.

Холодильный агрегат, работающий на хладагентах R134a, R404A, обычно встраивается в корпус шкафа — в нижнюю или верхнюю его часть. При верхнем расположении агрегата создаются лучшие условия для его технического обслуживания и ремонта, но температура воздуха вверху обычно выше, чем внизу, на 2–3 К. Поэтому температура конденсации хладагента повышается и увеличивается расход электроэнергии, потребляемой компрессором.

Холодильные лари. Они предназначены для хранения и демонстрации напитков ($4-10^{\circ}\text{C}$), мороженого и замороженных продуктов ($-45 \dots -10^{\circ}\text{C}$).

Ларь имеет теплоизолированный охлаждаемый объем со стеклянной раздвижной или непрозрачной крышкой, оборудованный набором корзин, светильником, крышкой с замком, а также холодильный агрегат и пульт управления с кнопками и дисплеем для индикации режима работы.

Модельный ряд ларей разнообразен по вместимости, форме и размерам. Есть модели с плоской крышкой — сплошной откидной или стеклянной раздвижной, а есть с наклонным верхом — с прямым или выпуклым стеклом.

Лари обычно располагают в составе торговой линии в сочетании с прилавками или шкафами. Есть и мобильные модели для уличной торговли с электроснабжением от аккумуляторных батарей.

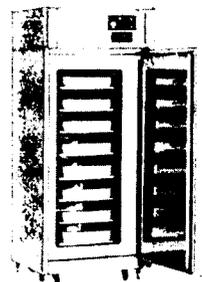


Рис. 6.4. Шкаф для холодильной обработки приготовленных продуктов

6.2 Холодильные прилавки и витрины

Прилавки и витрины являются основными элементами, из которых komponуют так называемую торговую линию в магазинах. Они имеют модульную основу. Модули каждой фирмы—изготовителя разнообразны

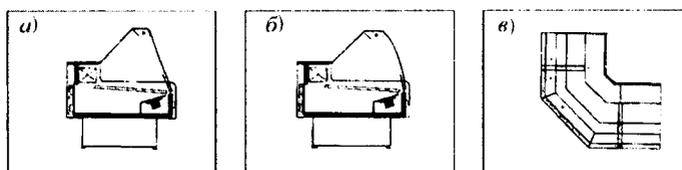


Рис. 6.5. Модули прямые с плоским (а) и выпуклым (б) стеклом и угловой (в)

по многим признакам, например, сфере использования, режиму работы, вместимости, конструкции (рис. 6.5), по аксессуарам.

Варианты компоновки торговых линий из различных модулей показаны на рис. 6.6.

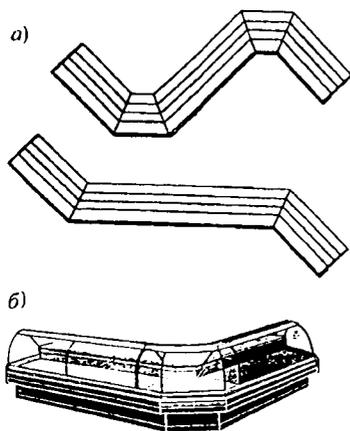


Рис. 6.6. Виды торговых линий
сверху (а) и фронтальный (б)

Угловые модули позволяют собрать торговую линию требуемой длины и необычной конфигурации. В результате удастся изменить интерьер торгового зала и рациональней использовать его площадь.

Холодильные прилавки. Они предназначены для продажи и хранения в течение рабочего времени охлажденных и замороженных продуктов в торговых залах продовольственных магазинов, в буфетах и барах, а также для хранения рабочего запаса полуфабрикатов и других пищевых компонентов в цехах предприятий массового питания.

Прилавки могут иметь каркасную или бескаркасную конструкцию, быть открытыми или закрытыми. В прилавках закрытого типа охлаждаемый объем имеет створки, а в прилавках открытого типа открытый проем изолируется от воздуха в помещении с помощью воздушной завесы. Воздушная завеса препятствует проникновению окружающего теплого воздуха в охлаждаемый объем и существенно уменьшает теплоприток, связанный с инфильтрацией теплого воздуха. Однако воздушная завеса будет выполнять свои функции только при надлежащей организации потока воздуха. С этой целью в прилавке предусмотрены всасывающий, нагнетательный каналы и жалюзи.

Открытые прилавки бывают двух видов: пристенные (доступ к продукту с одной стороны) и островные (доступ к продукту с обеих сторон).

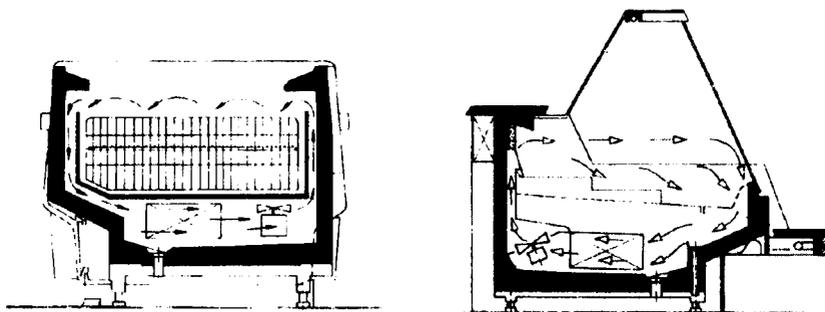


Рис. 6.7. Холодильный островной прилавок

Рис. 6.8. Холодильный пристенный прилавок

Открытый островной низкотемпературный прилавок показан на рис. 6.7.

Прилавок состоит из опорной рамы, на которой крепится неразъемный теплоизолированный корпус, полученный вспениванием пенополистирола между внешней и внутренней оболочками. В нижней части охлаждаемого объема находятся испаритель (ребристый трубчатый агрегат) с вентилятором. Воздух через всасывающий канал, образованный корпусом и декоративной панелью с отверстиями для прохода воздуха, всасывается вентилятором и нагнетается в батарею, где охлаждается, а затем в нагнетательный канал, из которого он выходит с большой скоростью, создавая воздушную завесу над открытым проемом.

Пристенный среднетемпературный прилавок показан на рис. 6.8.

Прилавки могут иметь встроенный в корпус холодильный агрегат или вынесенный. Первые предназначены для небольших магазинов, буфетов, а вторые — для крупных магазинов самообслуживания и супермаркетов.

Холодильные столы. Они предназначены для приготовления и хранения сырья, полуфабрикатов, пиццы, салатов, зелени на рабочих местах на кухне. Этот вид оборудования имеет теплоизолированный объем, возможно многосекционный с разными температурами, с дверцей (дверцами) и столешницу сверху, часть поверхности которой, закрываемой крышкой, может быть отведена для размещения лотков (противней) с продуктом и охлаждаться. В лотках хранятся готовые блюда, а в охлаждаемом объеме сырье.

Холодильный стол, имеющий охлаждаемую столешницу и тумбы, представлен на рис. 6.9.

Холодильные столы могут иметь встроенный или вынесенный холодильный агрегат.

Холодильные витрины. Они предназначены для демонстрации и продажи охлажденных и замороженных продуктов в магазинах, буфетах и барах. Их модельный ряд наиболее разнообразен, например, есть даже малогабаритные (настольные) модели для розничной торговли в небольших помещениях салатами, бутербродами, десертами.

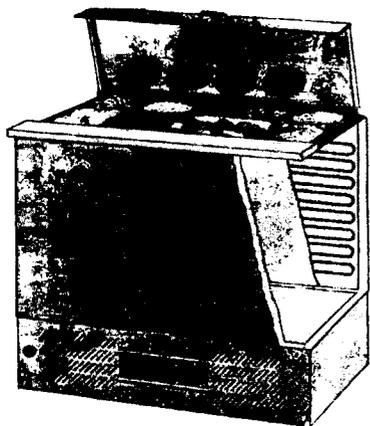


Рис. 6.9. Холодильный стол

Витрина состоит из неразъемного теплоизолированного охлаждаемого объема, полученного вспениванием пенополистирола между ограждающими металлическими оболочками, закрепленного на опорной раме.

Пристенная открытая многоярусная витрина имеет теплоизолированный охлаждаемый объем, расположенный на раме с регулируемыми опорами, в котором находятся стойки для легкосъёмных кронштейнов (рис. 6.10). Охлаждаемый объем может быть оборудован полками, корзинами, зеркалами. В верхней части витрины расположены светильники, люминесцентные трубки которых покрыты защитной пленкой, предотвращающей падение осколков стекла на продукты при разрушении трубок.

Относительно теплый воздух через всасывающий канал, расположенный во фронтальной части витрины, поступает через испаритель в вентилятор, который подает его в нагнетательный канал, образованный теплоизолированной задней стенкой и перфорированными декоративными панелями. По мере движения вверх часть холодного потока распределяется по ярусам, а оставшаяся часть выходит через решетку в верхней части витрины и направляется вниз, в направлении всасывающего канала. В результате образуется воздушная завеса перед открытым проемом охлаждаемого объема, уменьшающая теплоприток.

Холодильные прилавки-витрины. Они предназначены для демонстрации, продажи (витрина) и хранения рабочего запаса (прилавков) продуктов в небольших продовольственных магазинах, в столовых и буфетах. Модельный ряд прилавков-витрин строится на базе прилавков и витрин. Холодильный агрегат, как правило, встраивается в прилавок-витрину.

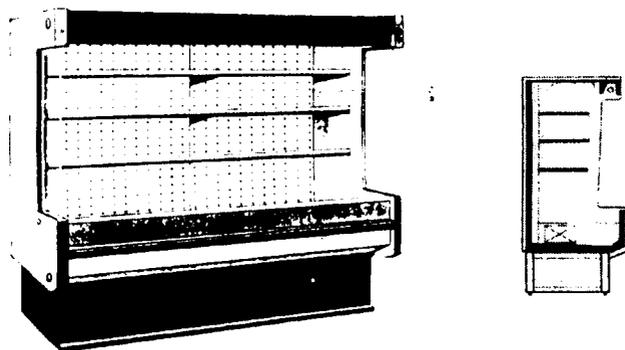


Рис. 6.10. Холодильная многоярусная витрина

6.3 Льдогенераторы

Они предназначены для приготовления и хранения водного пищевого льда в основном в барах и ресторанах.

Существуют различные модели льдогенераторов, отличающиеся производительностью, вместимостью, дизайном. Общими чертами льдогенераторов данного назначения являются: получение прозрачного пищевого льда; хранение льда, компоновка в виде единого блока и автоматическая работа.

Пищевой лед производится из высококачественной питьевой воды и должен быть прозрачным. Вода (даже высококачественная) содержит примеси, как минимум растворенные соли и газы. Замерзание такого раствора начинается с образования чистого прозрачного льда. В результате льдообразования происходит увеличение доли примесей в растворе, и они постепенно выделяются из раствора и вмерзают в лед, делая его непрозрачным. Для приготовления прозрачного льда примеси надо удалять с поверхности образующихся кристаллов льда.

На рис. 6.11 показан льдогенератор фирмы «Маја».

Он имеет каркасную конструкцию, состоящую из трех частей: собственно льдогенератора в верхней теплоизолированной части; теплоизолированного отделения для хранения кубиков льда и отделения с холодильным агрегатом в нижней части корпуса. В верхней части корпуса

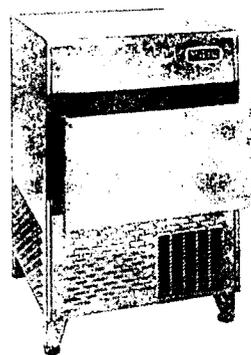


Рис. 6.11. Льдогенератор

расположены испаритель (змеевик, припаянный к льдоформам), а под ним форсунки и поддон с насосом.

При работе льдогенератора в режиме намораживания льда вода насосом через форсунки подается вверх в ячейки перевернутых льдоформ с температурой -20°C и намораживается на стенках, а примеси смываются избыточной водой, стекающей в поддон. После того, как ячейки льдоформ заполнятся льдом, включается режим работы, в процессе которого кубики льда удаляются из льдоформ. Льдоформы нагревают так, чтобы лед плавился только на поверхности контакта с формой и кубики льда могли отделяться под собственной тяжестью и поступать в расположенное ниже отделение для их хранения. Эти режимы работы чередуются.

БЫТОВЫЕ ХОЛОДИЛЬНИКИ И МОРОЗИЛЬНИКИ

Бытовые (домашние) холодильники, холодильники-морозильники и морозильники служат последним звеном непрерывной холодильной цепи. Холодильники обеспечивают хранение пищевых продуктов в охлажденном и замороженном состоянии, а морозильники — замораживание и хранение в замороженном состоянии пищевых продуктов при температуре не выше $-12 \dots -18^\circ\text{C}$ в домашних условиях до момента потребления.

Холодильники и морозильники довольно быстро совершенствуются. Улучшаются технико-экономические показатели, увеличивается число выполняемых функций, повышаются уровни автоматизации и комфортности, улучшается внешнее оформление.

В охлаждаемом объеме в общем случае выделяется четыре зоны с разными режимами: для охлаждения; замораживания; хранения при температуре 0°C с относительно низкой влажностью (до 90%) для мяса, рыбы, птицы и относительно высокой влажностью для овощей фруктов, зелени. Улучшают технико-экономические показатели путем сокращения теплопритоков через корпус, доля которого обычно составляет 70–80% суммарного значения (т. е. 20–30% ее приходится на долю теплопритоков от продуктов и при открывании двери). Это возможно путем уменьшения теплопроводности традиционной пенополиуретановой изоляции [до $\lambda = 0,0157 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$] и создания новой вакуумной и экранно-вакуумной, что позволяет уменьшить толщину ограждения морозильной камеры до 30–40 мм. Кроме того, чем меньше объем занимает теплоизоляция, тем больше полезная вместимость холодильника.

Применяют аккумуляторы холода, позволяющие стабилизировать температуру воздуха при циклической работе холодильного агрегата, сохранять приемлемую температуру длительный период при аварийном отключении электроэнергии, быстрее замораживать продукты.

Уровень автоматизации повышается вследствие использования микропроцессорной техники, позволяющей расширить возможности систем автоматизации, например, задавать режим хранения и замораживания, контролировать режим работы, диагностировать состояние основных элементов (компрессора, воздухоохладителя, и т. д.), сигнализировать о нарушении режима работы и ухудшении технического состояния компрессорного агрегата, оттаивать испарители.

В дизайне происходит переход к стилю «*softline*»: элементы конструкции выполняют без острых углов с мягкими скругленными очертаниями.

Расширяется цветовая гамма внешней и внутренней отделки. Для освещения применяют галогенные лампы.

Полки выполняют прозрачными из небьющегося стекла или прозрачного пластика. В холодильной камере предусматривают отделения, выдвижные контейнеры из прозрачного пластика, а в морозильной камере — отделения с прозрачными дверками.

7.1 Классификация, основные показатели и элементы

Классификация. Современные бытовые холодильники и морозильники — это сложные бытовые приборы, работающие в специфических условиях — в жилых (кухонных) помещениях, поэтому к ним предъявляются высокие требования: функционирование в автоматическом режиме (пользователь если и выполняет, то только простейшие операции по уходу за ними); минимальный уровень шума высокий уровень надежности; полная безопасность функционирования; возможно малые габаритные размеры при определенной полезной вместимости, небольшая стоимость и малые эксплуатационные расходы.

Бытовые холодильники бывают компрессорными (охлаждаемые компрессорной холодильной машиной), абсорбционными (охлаждаемые абсорбционной холодильной машиной) и термоэлектрическими (охлаждаемые термоэлектрическими батареями), а морозильники — компрессорными и абсорбционными.

Компрессорные холодильники составляют значительную долю используемых холодильников и морозильников — свыше 90%. Доля используемых абсорбционных холодильников не превышает 10%.

Термоэлектрические холодильники выпускаются в незначительном количестве: в основном встроенными в мебель и для транспортных средств (автомобилей, прогулочных катеров, яхт), имеющих источник электроэнергии.

В зависимости от вида используемой энергии различают электрические и газовые холодильники, последние могут быть только абсорбционными. В соответствии со стандартом холодильники обозначаются буквой К, абсорбционные — А, абсорбционные с газовым нагревом — АГ, морозильники — М. По месту возможной установки или по исполнению бытовые холодильники делятся на следующие типы: Ш — в виде шкафа (наиболее распространенная форма); С — в виде стола или

шкафа-стола с сервировочной плоскостью; высота такого холодильника 850–900 мм, что позволяет использовать его в качестве кухонного стола; Н — настенные; Б — блочно-встраиваемые (объединенные с какой-либо мебелью или встраиваемые в нее).

Бытовые холодильники и морозильники различают по числу камер, имеющих различные температуры воздуха и отделенные друг от друга теплоизолированными перегородками и дверцами. Для каждой камеры предусматривается отдельная дверь. Выпускаются однокамерные, двухкамерные Д, трехкамерные Т холодильники.

В зависимости от выполняемых функций холодильники подразделяются на шесть групп сложности (0–5), морозильники — на две (0 и 1), в число которых входит, например, температуры замораживания и хранения мороженных продуктов, уровень автоматизации и другие. В зависимости от максимальной температуры окружающего воздуха, при которой могут функционировать холодильники, их классифицируют на следующие виды исполнения: SN и N не выше 32°C; ST не выше 38°C, Т не выше 43°C, а морозильники и холодильники-морозильники — на такие виды: N не выше 32°C, Т не выше 43°C.

В зависимости от целевого назначения различают камеры: морозильную (МК) — для замораживания и хранения мороженных продуктов; низкотемпературную (НТК) — для хранения мороженных продуктов; холодильную — (ХК); универсальную (УК) — для хранения продуктов в свежем, охлажденном и замороженном состояниях; высокотемпературную (ВТК) — для хранения свежих овощей и фруктов.

Однокамерные холодильники могут иметь низкотемпературное отделение (НТО) или быть без него. В зависимости от температуры $t_{\text{пл}}$ в НТО выделяют три вида холодильников: $t_{\text{пл}} < -6^\circ\text{C}$ (у такого холодильника на дверку НТО наносится маркировка — одна звездочка); $t_{\text{пл}} < -12^\circ\text{C}$ (две звездочки); $t_{\text{пл}} < -18^\circ\text{C}$ (три звездочки на дверке НТО или НТК). Морозильники маркируют четырьмя звездочками. Большая звездочка свидетельствует о том, что можно замораживать продукты.

Основные размеры холодильников, морозильников и методы испытаний регламентированы государственными стандартами. Техническими характеристиками являются: вместимость общая $V_{\text{хк}}$, и отдельных камер (НТО, НТК, МК, ВТК); температура в камерах и отделениях; производительность устройства для замораживания продукта; суточный относительный расход электроэнергии $e_{\text{хк}}$, (кВт · ч/дм³) и др. Например, температура (средняя по объему) холодильной камеры в зависимости от исполнения (в интервале соответствующих ему наружных температур t_n) должна быть: для SN (10 – 32°C) 5°C; N (16 – 32°C) 5°C; ST

(18 – 38°C) 7°C и T(18 – 43°C) 7°C. При этом температура в НТО не выше –6°C (–12 и –18°C), в НТК, МК не выше –18°C, а компрессор в установившемся режиме должен работать циклично с коэффициентом рабочего времени не более 0,9.

При отключении электроэнергии время, за которое температура в НТК и МК холодильников повысится до –9°C должно быть не менее: для холодильника 8 ч; для холодильника-морозильника и морозильника 12 ч.

В связи с трудностью учета теплопритоков через углы корпуса, роль которых в данном случае значительна из-за малого отношения линейных размеров корпуса к толщине изоляционного слоя, а также и теплопритоков по тепловым мостикам теплотехнические свойства корпуса обычно характеризуют не коэффициентом теплопередачи, а теплопроводимостью kF (Вт/К) или временем τ (ч) повышения температуры воздуха от номинальной до –9°C в НТО и МК при $t_{н} = 25^\circ\text{C}$ при отключении электроэнергии.

Допустимый уровень звуковой мощности в зависимости от типа и вместимости должен быть в пределах от 40 Дб (однокамерный холодильник вместимостью до 200дм³) до 53 Дб (морозильник вместимостью свыше 400дм³).

Средняя наработка на отказ должна быть не менее 50 000 ч, а средний срок службы — не менее 15 лет. Абсорбционный холодильник должен быть работоспособным при установке его с уклоном 1%, поддерживая среднюю температуру в холодильной камере не выше 9°C при $t_{н} = 32^\circ\text{C}$ для климатического умеренного исполнения и $t_{н} = 43^\circ\text{C}$ для тропического исполнения.

Европейская система классификации холодильников и морозильников предусматривает деление на семь видов в зависимости от потребления энергии за год, обозначаемых буквами от А (нижний предел потребления — до 325 кВт·ч) до G (верхний предел).

Основные элементы конструкции. Холодильники и морозильники состоят из двух основных блоков: теплоизолированного корпуса с дверью и холодильного агрегата (машины).

Корпус включает наружную, внутреннюю оболочки и теплоизоляционный слой. Наружная оболочка является несущей и обычно представляет собой сварную конструкцию из низкоуглеродистого стального листа толщиной 0,6–1,0 мм, внешняя поверхность которого покрыта синтетической эмалью. Внутренняя оболочка может быть металлической или пластмассовой (обычно из ударопрочного полистирола).

Большинство моделей современных холодильников и морозильников имеют изоляцию из пенополиуретана, который вспенивается меж-

ду оболочками корпуса. Получается непрерывный теплоизоляционный слой и жесткая неразборная конструкция, позволяющая уменьшить толщину стального листа наружной оболочки холодильника.

Толщина изоляции обычно составляет: холодильного отделения — 40–70 мм и морозильного отделения — до 90 мм. У морозильников толщина изоляции составляет 60–100 мм, что позволяет снизить расход электроэнергии (до 1 кВт · ч/сут в при вместимости 200 дм³), увеличить производительность по замораживанию продуктов, увеличить время повышения температуры от –18°С до –9°С при отключении электроэнергии до 30 ч и более.

Низкотемпературные камеры многокамерных холодильников и камеры морозильников выполняют из алюминия или нержавеющей стали. Металлические камеры более долговечны и гигиеничны, но увеличивают массу холодильника и морозильника. Пластмассовые камеры более технологичны в изготовлении и сборке, имеют меньшую теплопроводность и массу. Однако они быстрее теряют товарный вид, менее прочны и долговечны по сравнению с металлическими.

Открытый проем шкафа закрывается дверью, которая удерживается в закрытом положении при помощи затвора. Затвор обычно магнитный, представляющий собой эластичную магнитную вставку, размещенную в уплотнительный профиль. Уплотнительный резиновый баллонный профиль, закрепленный на внутренней поверхности двери, обеспечивает герметичность соединения корпуса с дверью. Магнитная вставка притягивается к корпусу, и в результате баллон прижимается к поверхности корпуса. Дверь с таким затвором без значительного усилия может быть открыта и изнутри холодильника.

Снаружи в нижней части корпуса, на задней стенке обычно размещается холодильный агрегат.

Корпус имеет регулируемые опоры, а современные модели имеют задние роликовые опоры для перемещения холодильника.

7.2 Компрессорные холодильники и морозильники

Большая часть используемых холодильников и морозильников оснащена компрессорными агрегатами ввиду достоинств парокompрессорных холодильных машин (по сравнению с машинами другого вида): небольших габаритных размеров агрегата, гибкости в работе, возможности автоматизации.

Холодильный компрессорный агрегат холодильника и морозильника состоит обычно из герметичного компрессора, конденсатора, фильтра-

осушителя, капиллярной трубки, теплообменника, испарителя, электропусковых устройств и приборов автоматики.

Герметичные компрессоры (мотор-компрессоры) обычно поршневые, но применяют и ротационные компрессоры. В состав компрессорных агрегатов входят поршневые одноцилиндровые, иногда ротационные компрессоры с теоретической объемной подачей до $4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$ ($1,44 \text{ м}^3/\text{ч}$).

Конденсаторы воздушные в основном охлаждаются при свободном движении воздуха, но есть и с принудительным его движением. Конденсаторы со свободным движением воздуха могут быть ребристыми с пластинчатыми или проволочными ребрами и листотрубными.

Ребристый конденсатор представляет собой змеевик из стальной или медной труб с внутренним диаметром 3–4 мм, оребренных пластинчатыми поперечными ребрами или имеющих проволочное оребрение. Листотрубный щитовой конденсатор выполняют в виде змеевика из горизонтальных или вертикальных труб, припаянных или плотно прижатых пластинками к стальному листу. Последнему иногда придают коробчатую форму, благодаря чему между листом и задней стенкой шкафа образуется труба, улучшающая тягу воздуха.

В случае вынужденной циркуляции воздуха применяют конденсаторы с пластинчатым оребрением. Они компактней, имеют небольшую разность температур конденсации и окружающего воздуха (5–10 К вместо 15–20 К).

Фильтры-осушители представляет собой цельнотянутый медный патрон с латунными сетками, между которыми находится поглотитель влаги, например, синтетический цеолит. Наряду с сетчатыми используют металлокерамические фильтры.

Капиллярные трубки обычно имеют наружный диаметр 2,0 мм, внутренний диаметр 0,7–0,85 мм, длину 2–8 м. Размеры капиллярной трубки определяют пропускную способность, которая должна быть равна производительности компрессора в расчетном режиме и обеспечивать выравнивание давлений в конденсаторе и испарителе во время стоянки компрессора, что уменьшает нагрузку на электродвигатель при его пуске.

Испарители в основном охлаждают воздух в условиях свободной конвекции и разнообразны по конструкции: прокатно-сварные, змеевиковые оребренные и гладкотрубные.

Испарители холодильников и холодильников-морозильников обычно листотрубные (прокатно-сварного типа из алюминиевого листа) U- или O-образной формы и располагаются в верхней части камеры.

В морозильниках и некоторых моделях двухкамерных холодильников-морозильников применяют змеевиковые листотрубные испарители, которые располагают вертикально или горизонтально в охлаждаемом пространстве или в теплоизоляции.

При вынужденном движении воздуха применяют ребристотрубные испарители. Подача воздуха вентилятором позволяет сравнительно просто создать в холодильнике зоны с различными температурами, устранить оседание инея на продуктах и внутренней поверхности холодильника; осуществить автоматическое оттаивание испарителя. Но при этом расходуется электроэнергия и усложняется система автоматики.

Теплообменник вводят в состав холодильного агрегата по той же причине, что и в состав установок большой холодопроизводительности. Однако здесь он выполнен иначе. Распространены три конструктивных решения теплообменника: теплообменник образован капиллярной трубкой, навитой на участок всасывающего трубопровода и припаянной ней; теплообменник образован капиллярной трубкой, припаянной к наружной поверхности участка всасывающего трубопровода; теплообменник образован капиллярной трубкой, проходящей внутри участка всасывающего трубопровода.

Хладагенты применяют различные, в основном R134a, R404A, R600a и смеси R290/R600a с отношением массовых долей 50/50.

Смазочные масла также различны — для агрегатов на R134a и R404A используют полиэфирные (XC 22, EAL Arctic 22), полиалкиленгликолиевые (LB-165) масла, а на R600a, R290/R600a — традиционные минеральные масла.

Электродвигатели компрессоров однофазные асинхронные переменного тока. Для создания вращающего момента, достаточного для разгона ротора, служит пусковая обмотка, а ее включение и выключение осуществляет пусковое реле. Появились новые электродвигатели с позисторным пуском и рабочим конденсатором, пусковым и рабочим конденсаторами, снижающие энергопотребление, температуру обмоток и уровень радиопомех.

Электрическое оборудование холодильников и морозильников в общем случае включает: светильники мощностью 15–25 Вт (в зависимости от вместимости холодильника) с кнопкой-выключателем; вентиляторы мощностью 5–15 Вт для принудительной циркуляции воздуха; электрические нагреватели мощностью 10–20 Вт обогрева периметра двери НТО и мощностью до 500 Вт для оттаивания охлаждающих батарей.

Приборы автоматики традиционного исполнения включают: реле температуры для поддержания заданной температуры в камерах; пуско-

вое реле для автоматического включения пусковой обмотки электродвигателя при пуске, защитное реле обмоток электродвигателя от большой силы тока; соленоидный вентиль; приборы управления процессом оттаивания.

Современные системы автоматизации имеют микропроцессорную базу и обеспечивают регулирование температур в камерах, сигнализацию исполнительную, предупредительную и защитную, управление процессом оттаивания, а также индикацию на дисплее ряда параметров.

Для многокамерных (т. е. многотемпературных) холодильников используются различные виды компрессорных агрегатов, отличающихся числом компрессоров, испарителей и другими признаками. Например, при наличии двух компрессоров и двух испарителей потребление электроэнергии агрегатом снижается на 10–20%, упрощается система автоматического регулирования температуры воздуха в камерах, но увеличиваются размеры и масса агрегата.

На российском рынке присутствуют отечественные («Стинол», «Бирюса», «Позис» и др.) и иностранные («Атлант», «Bosch», «Electrolux», «Siemens», «Zanussi» и др.) фирмы, предлагающие большое число моделей.

Наиболее распространены изделия фирмы «Стинол». Базовая модель холодильника-морозильника этой марки показана на рис. 7.1,а.

Эта модель представляет собой двухкамерный шкаф. В верхней части шкафа расположена холодильная камера, а под ней — морозильная. Над холодильной камерой находится панель управления и сигнализации 1.

Холодильная камера оборудована светильником 16, съемными полками 2, контейнерами для овощей и фруктов 4, устройством для отвода талой воды 3. На внутренней панели двери расположены полки 11–14 и контейнер с крышкой 15. Испаритель змеевикового типа находится за внутренней обшивкой в теплоизоляции.

Морозильная камера содержит отделения: для замораживания и хранения льда и плитки аккумулятора холода 5; для замораживания и хранения продуктов 6; хранения замороженных продуктов 7. Испаритель выполнен из медной трубки.

В нижней части корпуса находятся сосуд для сбора талой воды 9, регулируемые опоры 8, а в машинном отделении компрессор. На задней стенке корпуса расположен конденсатор.

Схема холодильного агрегата представлена на рис. 7.1,б. Компрессор 1 подает пар по нагнетательному трубопроводу, участок которого проходит по периметру дверного проема морозильной камеры, в конденсатор 3. Участок нагнетательного трубопровода обогревает дверной

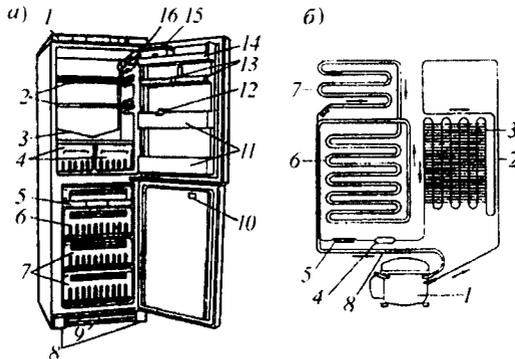


Рис. 7.1. Базовая модель холодильника-морозильника «Стинол»

а — общий вид:

1 — панель управления и сигнализации; *2* — съемные полки; *3* — поддон для отвода талой воды; *4* — контейнеры для овощей и фруктов; *5* — отделение для замораживания воды и хранения льда и аккумулятора холода; *6* — отделение для замораживания и хранения продуктов; *7* — отделения для хранения замороженных продуктов; *8* — регулируемые опоры; *9* — сосуд для сбора талой воды; *10* — индикатор температуры; *11* — съемные полки для бутылок и пакетов; *12* — подвижный разделитель бутылок; *13* — полка с откидной крышкой; *14* — полка для яиц; *15* — контейнер с крышкой; *16* — светильник;

б — схема холодильного агрегата:

1 — компрессор; *2* — нагнетательный трубопровод; *3* — конденсатор; *4* — фильтр-осушитель; *5* — капиллярная трубка; *6* — испаритель холодильной камеры; *7* — испаритель морозильной камеры; *8* — всасывающий трубопровод

проем, чтобы влага не конденсировалась, а дверь не примерзала к шкафу. Жидкий хладагент из конденсатора *3* поступает в фильтр-осушитель *4*, капиллярную трубку *5*, участок которой является теплообменником, и в испаритель морозильной камеры *7*. Оставшаяся часть жидкого хладагента и пар из испарителя *7* поступают в испаритель холодильной камеры *6* затем по всасывающему трубопроводу, участок которого является теплообменником, в компрессор.

Холодильники-морозильники этой базовой модели имеют определенные отличия, в частности, различные системы охлаждения и оттаивания камер. Так, в моделях «Стинол-101» и «Стинол-124» камеры охлаждаются при свободном движении воздуха, а в моделях «Стинол-107» и «Стинол-123» — при вынужденном движении воздуха.

В моделях «Стинол-101» и «Стинол-124» оттаивание испарителя холодильной камеры осуществляется автоматически во время нерабочей части цикла компрессора. Талая вода собирается в поддоне и по дренажной трубке поступает в ванночку, расположенную на компрессоре, где и испаряется. Оттаивание морозильной камеры выполняется пери-

одически вручную, если толщина инея на полках достигнет 5 мм. Для этого ручку терморегулятора переводят в положение «0» (выключено) и открывают дверь до полного удаления инея.

В моделях «Стинол-107» и «Стинол-123» вентилятор обеспечивает циркуляцию воздуха в холодильной камере, что позволяет вынести испаритель за пределы камеры, реализовав систему «No frost» (без инея). Эта система работает следующим образом: вентилятор всасывает из испарителя холодный осушенный воздух и нагнетает его сначала в камеру, где он нагревается и увлажняется, а затем в испаритель, где он охлаждается и осушается в результате вымерзания части влаги на теплопередающей поверхности. Следовательно, в камере иней не образуется и она может работать непрерывно.

Оттаивание испарителя в морозильной камере проводится автоматически по команде реле времени (таймера), которое периодически (через 10–12 ч) отключает компрессор, вентилятор и включает электронагреватели испарителя и поддона для сбора талой воды. Вода отводится по трубке в ванночку на компрессоре. Когда температура ребер испарителя достигает 10°С, реле температуры отключает нагреватель испарителя. А через 10 мин реле времени отключает нагреватель поддона и включает компрессор и вентилятор.

7.3 Абсорбционные холодильники и морозильники

Доля выпускаемых абсорбционных холодильников и морозильников невелика, но стабильна в течение нескольких десятилетий. Дело в том, что они имеют и преимущества перед компрессорными: бесшумность работы, позволяющую их использовать в жилых помещениях больницы, гостиниц, квартир; возможность работы на различных энергоносителях (электроэнергии, газообразном и жидком топливе), что позволяет применять их в районах, где нет электроэнергии, в транспорте; более низкая (на 15–20 %) цена.

Абсорбционные холодильные агрегаты могут конкурировать с компрессорными в двухкамерных холодильниках, в которых для получения необходимых температур в низкотемпературной камере агрегат должен работать при низкой температуре кипения и, следовательно, с большим отношением давлений. Холодопроизводительность компрессорного агрегата при этом значительно понижается из-за низкого значения коэффициента подачи и малой объемной холодопроизводительности. Это вызывает существенное повышение расхода энергии. Изменение производительности абсорбционного агрегата связано с изменением массовой холодопроизводительности хладагента, а потому с понижением темпе-

ратуры кипения производительность падает значительно медленнее, чем компрессорного агрегата.

В Европе наиболее распространены такие модели: однокамерные типа ларь вместимостью 23–36 дм³, типа шкаф в напольном и встроенном исполнении; двухкамерные типа шкаф вместимостью 170–380 дм³; морозильники типа ларь вместимостью 80–270 дм³ с температурой –18 и –24°С. Приблизительно 70% выпуска составляют холодильники вместимостью до 100 дм³. Как правило, каждая модель абсорбционного холодильника имеет два варианта исполнения холодильного агрегата: для работы от электрической сети напряжением 220/110 В и комбинированный — для работы на жидком или газообразном топливе, от электросети переменного (220/110 В) или постоянного (12/24 В) тока.

Холодильники оснащены электрическими и газовыми термостатами, пьезозажиганием, дистанционным индикатором пламени. Газовая и керосиновая горелки имеют устройство для ступенчатого изменения тепловой мощности.

Современные модели имеют высокие показатели. Например, холодильник АЩД-380/55 при номинальном режиме работы имеет тепловой коэффициент 0,26, потребляет 250 Вт электрической мощности или 16 дм³/ч пропана, или 0,8 дм³/сут керосина.

В бытовых холодильниках применяют абсорбционно-диффузионные водоаммиачные холодильные машины непрерывного действия с инертным газом — водородом. Можно считать, что водород находится только в аппаратах низкого давления и тем самым выравнивает общее давление во всех аппаратах агрегата. Давление в аппаратах высокого давления (конденсаторе и генераторе) создается только чистым аммиачным насыщенным паром и устанавливается в соответствии с температурой среды, отводящей теплоту в конденсаторе, т. е. $p_k = p_{a1}$, в то время как то же самое общее давление p_k в аппаратах низкого давления (в испарителе, абсорбере) составляется из давления $p_0 = p_{a2}$ аммиачного насыщенного пара, устанавливающегося в зависимости от температуры воздуха в камере холодильника, и давления водорода рвд, зависящего от его количества и температуры в аппаратах, т. е. $p_k = p_{a2} + p_{вд}$.

Схема холодильного агрегата абсорбционного холодильника показана на рис. 7.2.

В отличие от обычной абсорбционной машины, в которой имеются два циркуляционных кольца (чистого хладагента и раствора), в данном случае появляется еще и третье кольцо — циркуляции инертного газа.

Крепкий водоаммиачный раствор кипит в генераторе 3, представляющем собой двойную трубу, в межтрубном пространстве которой находится раствор, во внутренней трубе размещается электронагреватель

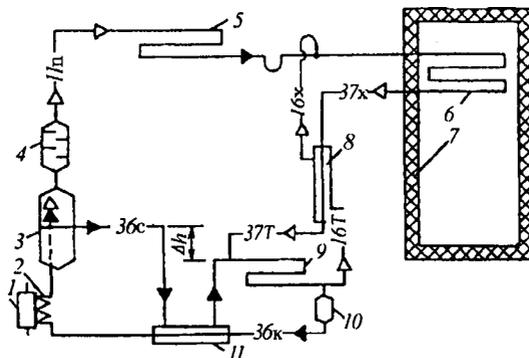


Рис. 7.2. Схема холодильного агрегата абсорбционного холодильника:
 1 — электрический нагреватель; 2 — термосифон; 3 — генератор; 4 — ректификатор;
 5 — конденсатор; 6 — испаритель; 7 — теплоизолированный шкаф; 8 — газовый
 теплообменник; 9 — абсорбер; 10 — сосуд абсорбера; 11 — жидкостный теплообменник

1. Вместо электронагревателя могут использоваться газовая или керосиновая горелка, помещаемая под генератором и подводящая теплоту, необходимую для работы агрегата. Водоаммиачный пар, образующийся при кипении раствора, проходит через ректификатор 4, где уменьшается содержание водяного пара в смеси при отводе теплоты ректификации к воздуху. Аммиачный пар направляется в конденсатор 5 и там охлаждается при отводе к окружающему воздуху теплоты конденсации.

Из конденсатора жидкий хладагент поступает в испаритель 6, находящийся внутри холодильного шкафа. Так как давление в конденсаторе и испарителе одинаково, то нет необходимости в дроссельном устройстве между ними. Однако для гравитационного стока жидкого хладагента в испаритель конденсатор должен располагаться выше испарителя. Если точнее характеризовать процесс в испарителе, то там происходит не кипение жидкости, а ее испарение, так как давление аммиачного пара здесь ниже общего давления в аппарате. Аммиачный пар диффундирует в водород (поэтому агрегат называют абсорбционно-диффузионный), в результате чего образуется аммиачно-водородная газовая смесь.

Теплота, необходимая для испарения жидкости, подводится от воздуха холодильной камеры и составляет холодопроизводительность агрегата.

Аммиачно-водородная смесь через газовый теплообменник 8 направляется в абсорбер 9, где происходит разделение компонентов с выделением теплоты абсорбции. Получившийся крепкий водоаммиачный раствор через жидкостный теплообменник 11 направляется вновь в кипятильник, в котором замыкается циркуляционное кольцо хладагента.

Во втором циркуляционном кольце раствор циркулирует между кипятильником и абсорбером. Обедненный в генераторе слабый водоаммиачный раствор (36с) самотеком стекает в абсорбер из верхней зоны кипятильника. Так как здесь давления в обоих аппаратах равны, то нет необходимости в дросселирующем устройстве, но важно, чтобы уровень жидкости в генераторе был выше, чем в абсорбере, на некоторое значение Δh .

С другой стороны, в этом агрегате крепкому раствору (36к), направляющемуся из абсорбера в генератор, не нужно преодолевать разность давлений конденсации и кипения, что освобождает от применения насоса. Следует только преодолеть разницу в уровнях жидкости в генераторе и сборнике абсорбера; в самом же абсорбере жидкость протекает сверху тонкой струей, не занимая всего сечения трубы. Эту задачу — подъем жидкости — выполняет простое устройство, называемое термосифоном.

Одна из конструкций термосифона 2 представляет собой трубку малого диаметра (4–5 мм), делающую два-три витка вокруг нагреваемой внутренней трубы генератора. Пузырьки пара, образующиеся при кипении раствора, поднимаясь по трубе термосифона, толкают, как поршеньки, впереди себя небольшие порции жидкости и тем самым перекачивают ее в верхнюю зону кипятильника. Теплообменник раствора 11 имеет такое же назначение, как в обычной абсорбционной машине.

В третьем циркуляционном кольце (т. е. в газовом) движение водорода происходит в результате разницы плотностей газовой смеси в испарителе и абсорбере, между которыми циркулирует водород. Из испарителя 6 опускается холодная, т. е. более тяжелая аммиачно-водородная смесь (36х), а из абсорбера 9 подымается почти чистый водород (16т), нагретый в абсорбере примерно до температуры окружающего воздуха и, следовательно, более легкий. Газовый теплообменник 8 улучшает тепловые показатели агрегата, так как позволяет охладить водород перед поступлением в испаритель (16х) путем передачи тепла к холодной смеси, опускающейся из испарителя в абсорбер.

Можно утверждать, что экономичность абсорбционных машин с инертным газом обязательно ниже, чем экономичность обычных абсорбционных машин непрерывного действия в связи с появлением в цикле машины дополнительных необратимых процессов: смешения аммиака и водорода при наличии теплообмена между ними; диффузии аммиака в водород.

Холодопроизводительность компрессоров бытовых холодильников значительно выше, чем тепловая нагрузка, поэтому при нормальных температурных условиях и нормативной нагрузке продуктами компрессора работает циклично, включаясь и выключаясь автоматически. Бла-

годаря запасу холодопроизводительности компрессорный агрегат может обеспечить заданный температурный режим внутри шкафа даже при очень тяжелых внешних условиях, но главное — циклическая работа компрессора бытовых холодильников с малым коэффициентом рабочего времени является одним из средств обеспечения долговечности.

Изменение холодопроизводительности абсорбционной машины может осуществляться двумя путями: циклической работой агрегата, т. е. его периодическим включением и выключением, или применением ступенчатого нагрева нагревателями с несколькими (двумя-тремя) секциями, например, 60, 75 и 90 Вт. Оба метода равноценны по энергетическому эффекту. Автоматическое регулирование температуры в абсорбционном холодильнике не может существенно изменить его экономичность, но все же расход энергии в этом случае сокращается на 12–15%.

Теплообменные аппараты абсорбционных агрегатов изготавливают из стальных труб: конденсатор и испаритель холодильной камеры в виде оребренного змеевика, испаритель низкотемпературной камеры — в виде змеевика; а жидкостные и газовые — типа труба в трубе.

Нагреватели генератора (электронагреватель, газовая и керосиновая горелки) позволяют ступенчато изменять тепловую мощность.

Абсорбционный агрегат однокамерного холодильника содержит 0,35–0,75 дм³ водоаммиачного раствора с массовой долей аммиака 34–36%, ингибитор коррозии (хромат натрия) и заполнен водородом под давлением 1,5–2,0 МПа.

К современным моделям относится абсорбционный двухкамерный холодильник «Кристалл-9м» АИЦД-200П. Устройство его корпуса аналогично устройству корпуса компрессорного холодильника. В верхней части теплоизолированного пенополиуретаном корпуса расположена морозильная камера с внутренней оболочкой из алюминия, а в нижней — холодильная камера с внутренней оболочкой из ударопрочного полистирола. Каждая камера имеет свою теплоизолированную дверь. Испаритель низкотемпературной камеры выполнен из стальной трубки и расположен за внутренней обшивкой в теплоизоляции, а высокотемпературной камеры — у задней стенки камеры.

Холодильный агрегат находится на задней стенке холодильника.

В камерах холодильника температура поддерживается автоматически путем ступенчатого изменения мощности электрического нагревателя с 40 на 125 Вт и наоборот. Оттаивание испарителя холодильной камеры производится автоматически после переключения электронагревателя на минимальную мощность 40 Вт. Такой испаритель называют «плачущим».

Термоэлектрические холодильники. Они обладают рядом достоинств: работают без шума и вибрации; изменение направления движения электрического тока (полярности) приводит к переходу от охлаждения к нагреванию; безынерционны; компактны и экологически чисты. Однако термоэлектрические холодильники потребляют электроэнергию приблизительно в 4 раза больше, чем компрессорные при сопоставимых условиях работы.

подавляющее большинство моделей термоэлектрических холодильников имеет вместимость в пределах 100 дм³. Модели различны по назначению: стационарные холодильники; переносные охладители напитков, охладители-нагреватели детского питания; транспортные холодильники.

В нашей стране спрос находят в основном переносные холодильники, предназначенные для работы в автотранспорте, например ХТЭП-13,8ПР, обеспечивающий охлаждение и хранение пищевых продуктов и напитков. Этот холодильник выполнен в виде ларя с ручкой для переноса. Он состоит из теплоизолированного корпуса с крышкой, встроенного в крышку термоэлектрического устройства (ТЭУ), переключателя режимов работы и электрического шнура для подключения к источнику постоянного тока напряжением 12 В. ТЭУ состоит из термоэлектрических батарей с холодной (теплоотводящей) и горячей (тепловыделяющей) медных пластин, и вентилятора, обеспечивающего движение воздуха в холодильной камере и около горячей пластины.

Холодильник может работать в режимах охлаждения и нагревания. Предусмотрено два режима охлаждения: основной (при относительно высокой температуре окружающей среды 32°С) и вспомогательный (при более низкой температуре во избежание подмораживания продуктов). При основном режиме работы разность температур окружающего воздуха и в холодильной камере составляет 26 К. В режиме нагревания температура в камере достигает 70°С.

Бытовая холодильная техника имеет высокий уровень надежности и работает автоматически. Но и она требует от пользователя соблюдения определенных правил и выполнения операций, объем которых зависит от комфортности модели.

К основным правилам можно отнести следующие: рациональное расположение холодильника (морозильника) в помещении; подключение его к стабильному источнику электроэнергии; рациональная загрузка камер продуктами и контроль его функционирования.

Холодильники устанавливают в помещении так, чтобы: он находился как можно дальше от источника теплоты; воздух мог циркулировать, охла-

ждая компрессор и конденсатор; создаваемый им шум максимально снижался.

Холодильники рассчитаны на работу от сети переменного тока с допустимыми колебаниями напряжения и силы тока. Отклонение напряжения и силы тока в обе стороны от номинальных значений приводит к нарушению режима работы и снижению долговечности холодильного агрегата.

Продукты размещают по температурным камерам, отделениям и зонам руководствуясь инструкцией и следующими соображениями. Температура воздуха в разных частях объема холодильной камеры не одинаковая: более низкая температура поддерживается в объеме непосредственно под испарителем, более высокая температура (на 3–5 К) в нижней зоне камеры. Сравнительно высокая температура устанавливается также в объеме двери, используемой для хранения продуктов. Наконец, в объеме (внутри) испарителя (НТО, НТК) находится область отрицательных температур.

В камерах холодильника устанавливается низкая относительная влажность воздуха, способствующая испарению влаги с поверхности продуктов. Чем ниже температура в какой-либо зоне холодильника, тем больше интенсивность испарения. Поэтому продукты с открытой поверхностью быстро сохнут даже при недолгом хранении в холодильнике. В связи с этим их следует хранить в закрытых контейнерах или в полиэтиленовых пакетах. Закрытыми или упакованными следует также хранить как пахнущие продукты, так и продукты, легко воспринимающие различные запахи.

Обслуживание бытовой холодильной техники пользователем заключается в периодически проводимых операциях, связанных с санитарной обработкой внутренней поверхности камер, с очисткой поверхности конденсатора (два раза в год), с контролем технического состояния.

ХОЛОДИЛЬНЫЙ ТРАНСПОРТ

Холодильный (рефрижераторный) транспорт является соединительным звеном в непрерывной холодильной цепи между производителем и потребителем. По данным ООН, при международной торговле продуктами питания морем транспортируется приблизительно 61 %, наземным транспортом — 34 % и по воздуху — 5 %. Объем перевозок непрерывно возрастает в связи с растущим объемом внутренних и международных перевозок скоропортящихся продуктов.

Существуют различные виды холодильного транспорта: железнодорожный, автомобильный, водный, воздушный.

В связи с международным характером перевозок холодильные транспортные средства должны отвечать единым требованиям международных стандартов.

Наземные транспортные средства подразделяют на изотермические, холодильные, охлаждаемые холодильными машинами или веществами и нагреваемые (отапливаемые).

Изотермическое (неохлаждаемое) транспортное средство — это средство, кузов (или цистерна) которого состоит из теплоизоляционных ограждающих конструкций, включая двери, пол и крышу, имеющих коэффициент теплопередачи $k = 0,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ в обычном исполнении и $k = 0,4 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ с усиленной изоляцией.

Холодильное транспортное средство, охлаждаемое веществом, — теплоизолированное транспортное средство, охлаждаемое водным льдом, смесью водного льда с солью (льдосоляной смесью), сухим и эвтектическим льдом, криогенными жидкостями (азотом, воздухом) и другими устройствами, кроме компрессорных (паровых и газовых) и абсорбционных машин, система охлаждения которого способна понижать температуру внутри порожнего кузова и затем поддерживать ее при наружной температуре $t_n = 30^\circ\text{C}$ в зависимости от класса: не выше -20°C (класс С); не выше -10°C (класс В); не выше 7°C (класс А). Система охлаждения должна без дополнительных поступлений энергии или охлаждающего вещества обеспечить понижение температуры до заданного значения (в зависимости от класса) и поддержание ее на этом уровне в течение по крайней мере 12 ч.

Холодильное транспортное средство, охлаждаемое холодильной машиной, — теплоизолированное транспортное средство, имеющее индивидуальную или общую для нескольких транспортных единиц холодильную машину (установку), которая при $t_n = 30^\circ\text{C}$ позволяет

понижать температуру воздуха внутри порожнего кузова и затем поддерживать ее в зависимости от класса: 12–0°С (класс А); 12... – 10°С (класс В); 12... – 20°С (класс С); не выше 2°С (класс D); не выше –10°С (класс E); не выше –20°С (класс F).

Нагреваемое транспортное средство — теплоизолированное транспортное средство, имеющее нагревательную установку, позволяющую повышать температуру внутри порожнего кузова и затем поддерживать ее без дополнительного подвода энергии в течение по меньшей мере 12 ч на постоянном уровне не ниже 12°С при средней температуре наружного воздуха в зависимости от класса: –10°С (класс А); –20°С (класс В).

Кроме того, международные стандарты определяют требования к изготовлению, испытанию, размерам, режимам работы и т. д.

В настоящее время основными направлениями развития холодильного транспорта являются: снижение энергопотребления, уменьшение потери хладагента в атмосферу; использование модифицированной газовой среды при перевозке овощей и фруктов; интеграция различных транспортных средств на основе модульного построения; многосекционность и многотемпературность транспортных средств; повышение уровня автоматизации.

8.1 Железнодорожный холодильный транспорт

В нашей стране на долю железнодорожного холодильного транспорта приходится большая часть перевозок скоропортящихся продуктов.

Основным видом железнодорожного холодильного транспорта являются вагоны, которые по назначению подразделяются на универсальные и специальные.

Специальные вагоны приспособлены для перевозки только отдельных видов продуктов, например, молока, вина.

Универсальные вагоны, предназначенные для перевозки разных видов продуктов, делятся на изотермические и холодильные, охлаждаемые холодильными машинами и холодильными веществами.

Кузова современных вагонов бескаркасные, их собирают из трехслойных панелей типа сэндвич. Кузова грузовых вагонов имеют дверной проем, закрываемый дверями распашного или прислоненно-затяжного типа с резиновым уплотнением и запорным механизмом. Внутри на полу находится настил в виде металлических (стальных, алюминиевых) решеток, шарнирно прикрепленных к продольным стенкам, которые образуют каналы для прохода воздуха под грузом.

Изотермические вагоны. Эти вагоны составляют незначительную часть отечественного подвижного состава, перевозящего продукты. В основном это специальные вагоны-цистерны для молока и вина. За рубежом, например в США, изотермические вагоны преобладают в парке подвижного состава, перевозящего скоропортящиеся продукты. Это обусловлено несколькими причинами, в частности, хорошо развитой системой предварительного охлаждения продуктов, применением эффективной изоляционной конструкции, допускающей изменение температуры в кузове не более 0,8 К за сутки. В изотермических вагонах перевозят продукты допускающие изменение температуры в процессе перевозки на 8 К и при этом сохраняющие приемлемое качество.

Продукты, подлежащие перевозке в таких вагонах, можно разделить на три группы: замороженные, охлажденные и не допускающие подмораживания. Замороженные продукты (мясо, молочные продукты, рыба) перевозят при температурах $-6 \dots -12^\circ\text{C}$, охлажденные (масло, жиры, сыр) — при $5 \dots -3^\circ\text{C}$. Существенным преимуществом изотермических вагонов является отсутствие холодильного и нагревательного оборудования, а следовательно и необходимости снабжения их энергоносителем, технического обслуживания в пути следования.

Вагоны, охлаждаемые холодильным веществом. В нашей стране эти вагоны составляют около 5% от всего железнодорожного холодильного транспорта. В качестве охлаждающих веществ используют водный лед и смесь льда с солью, жидкий и твердый диоксид углерода, жидкий азот.

Ледяное и льдосоляное охлаждение — самый старый вид охлаждения, интерес к которому повышается с ростом цены на энергоносители и необходимостью защиты окружающей среды. Большая часть вагонов с таким видом охлаждением (называемых *вагонами-ледниками*) оборудована потолочными танками (бункерами) и пристенными карманами (бункерами), в которые периодически загружают лед и соль через люки, расположенные на крыше вагона.

Вагоны-ледники, охлаждаемые водным льдом, являются наиболее эффективными при перевозке предварительно охлажденных овощей и фруктов.

Вагоны-ледники нуждаются не только в первоначальной загрузке больших количеств льда и соли в охлаждающие приборы, но и в регулярном их пополнении через один-два дня пути. Поэтому на железнодорожных станциях должен производиться и храниться лед.

К недостаткам льдосоляного охлаждения железнодорожных вагонов следует отнести: недостаточно низкую для замороженных продуктов температуру внутри вагонов; значительное уменьшение грузовой вме-

стимости вагона из-за льдосоляных карманов; существенное уменьшение полезной грузоподъемности вагона из-за загрузки большого количества льдосоляной смеси; необходимость организации сети пунктов снабжения льдом; трудоемкость операций по загрузке льдом и солью; стекающий из карманов рассол вызывает коррозию металлических элементов железнодорожного полотна.

Некоторые из указанных недостатков лишена система охлаждения эвтектическим льдом, который находится внутри полых плит, являющихся охлаждающими батареями. Плиты размещают на стенах в верхней части кузова и на потолке. Они компактны и имеют относительно небольшую массу. Поэтому практически не влияют на полезную вместимость кузова и грузоподъемность вагона.

Охлаждение вагонов жидким и твердым диоксидом углерода и жидкими азотом все шире используют для перевозки замороженных грузов. Достоинствами этих охлаждающих систем являются простота конструкции, низкие капитальные затраты, инертность охлаждающих веществ по отношению к стратосферному озону, возможность получения низких температур, высокая объемная холодопроизводительность, бактерицидность газообразной среды.

Наиболее широко распространен твердый диоксид углерода, поскольку он имеет высокое значение холодопроизводительности. Для его использования требуется наиболее простое оборудование, например, он может загружаться в пристенные или потолочные танки.

Жидкие азот и CO_2 хранят в теплоизолированных сосудах, расположенных в охлаждаемом пространстве или вне его, и по мере необходимости подаются под давлением через форсунки в охлаждаемое пространство. Жидкий азот и CO_2 как охлаждающие вещества пока не нашли широкого применения из-за их относительно высокой стоимости и необходимости иметь сеть заправочных станций.

Вагоны, охлаждаемые холодильными машинами. В нашей стране холодильный подвижной состав состоит в основном (приблизительно 95%) из вагонов этого типа. Для охлаждения применяют в основном парокompрессорную холодильную машину на хладагентах R22, R134a и R404A.

В настоящее время парк холодильного железнодорожного транспорта с машинным охлаждением состоит из автономных (автономно функционирующих) вагонов и из 3–5 вагонов (функционирующих совместно), объединенных в секцию.

Автономные холодильные вагоны используют для перевозки небольших партий грузов при температурах в грузовом помещении 14... – 20°C. Они могут включаться в состав секции, грузового и

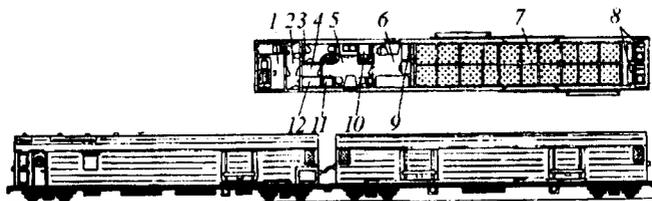


Рис. 8.1. Холодильный автономный вагон и секция:

1 — дизельное отделение; 2 — тамбур; 3 — туалет и душевая; 4 — шитовая; 5 — кухня; 6 — двухместное купе; 7 — грузовое охлаждаемое отделение; 8 — холодильная установка; 9 — аппаратура контроля и управления; 10 — электротермоводоаккумулирующий обогреватель; 11 — бытовой холодильник; 12 — главный распределительный щит

пассажирского поездов. В вагоне имеются грузовое помещение и два машинных отделения, расположенных по торцам. В каждом из машинных отделений находятся холодильный агрегат и дизель-генератор с топливным баком.

Холодильный агрегат включает бессальниковый двухступенчатый компрессор, воздушный конденсатор, линейный ресивер, фильтр-осушитель и воздухоохладитель, ТРВ, регулятор давления, индикатор влажности хладагента, арматуру, контрольно-измерительные приборы и приборы систем автоматизации.

Работа холодильной (нагревательной) установки автоматизирована. В зависимости от вида перевозимого продукта с помощью переключателей устанавливают следующие режимы: охлаждение с целью обработки продуктов; охлаждение с целью хранения или нагревание с целью хранения.

Оттаивание инея с поверхности воздухоохладителя выполняется автоматически.

Для технического обслуживания и планового ремонта холодильных вагонов на крупных узловых станциях созданы холодильные (рефрижераторные) депо.

К последним отечественным разработкам относятся автономный обслуживаемый вагон и обслуживаемый вагон-контейнеровоз, которые используют в качестве вагонов сопровождения в составе соответственно трехвагонной и трехконтейнерной секций (рис. 8.1).

Автономный обслуживаемый вагон имеет бытовое, дизель-генераторное и грузовое отделения, последнее вместимостью 50 м³ с двумя холодильно-нагревательными агрегатами, размещенными в торце, способными охлаждать груз от 4 до -18°C , а также поддерживать температуру воздуха в диапазоне от 14 до -18°C . Дизель-генераторы мощностью 90 кВт обеспечивают электроэнергией

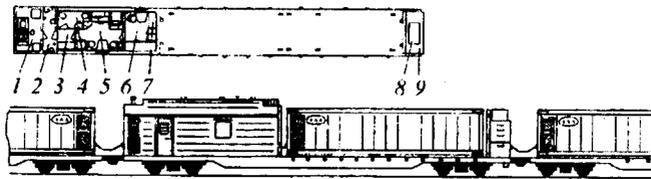


Рис. 8.2. Вагон-контейнеровоз и трехвагонная секция:

1 — дизельный отсек; 2 — тамбур; 3 — щитовая; 4 — туалет и душевая; 5 — кухня; 6 — двухместное купе; 7 — аппаратура контроля и управления; 8 — аккумуляторный ящик; 9 — дизельный отсек

холодильно-нагревательные агрегаты соответственно двух грузовых вагонов вместимостью 85 м^3 каждый и трех контейнеров.

В состав 5-вагонной секции входят четыре грузовых вагона и один служебный, расположенный в середине состава, в котором находятся дизель-электростанция и помещения для обслуживающей бригады, сопровождающей секцию.

Каждый грузовой вагон секции имеет грузовое помещение и машинное отделение, в котором смонтированы два холодильных агрегата. В грузовом помещении расположены воздухоохладители и электронагреватели. Холодный воздух в грузовое помещение подается вентиляторами по воздуховоду с отверстиями.

Электронагреватель мощностью $16,2 \text{ кВт}$ состоит из трех секций, в том числе одна резервная, трубчатых электронагревательных элементов.

Предусмотрены следующие режимы работы холодильной (и нагревательной) установки: режим охлаждения при перевозке замороженных продуктов, когда температура наружного воздуха больше требуемой; режим охлаждения при перевозке овощей и фруктов, включающий их холодильную обработку (охлаждение) от 30 до 4°C в течение 48 ч и последующее хранение в условиях $t_{\text{н}} > 4^\circ\text{C}$; режим нагревания при перевозке продуктов в условиях $t_{\text{н}} < 4^\circ\text{C}$; оттаивание воздухоохладителей осуществляют горячим паром, нагнетаемым компрессором в секцию воздухоохладителя.

8.2 Автомобильный холодильный транспорт

Автомобильный холодильный транспорт используют для внутригородских, междугородних и международных перевозок продуктов.

Средствами автомобильного холодильного транспорта являются фургоны, полуприцепы, прицепы одно- и двухосные, которые могут быть

изотермическими и холодильными, охлаждаемыми холодильными веществами и холодильными машинами.

Автомобильные транспортные средства в зависимости от грузоподъемности и назначения могут быть малой грузоподъемности (0,5–1,5 т), предназначенные для внутригородских перевозок продуктов мелкими партиями; средней грузоподъемности (2,5–5 т), предназначенные для внутригородских и внутриобластных перевозок; большой грузоподъемности (8–22 т), предназначенные для межобластных и международных перевозок продуктов. Вместимость кузова измеряют в м³ или числом поддонов с грузом (паллет), которые можно разместить в нем (на паллет приходится 2,2–2,4 м³).

Конструкция кузова обычно бескаркасная. Кузов собирается из панелей типа сэндвич с наружной обшивкой из металлических (стальных или алюминиевых) листов и внутренней обшивкой из металлических или пластмассовых листов. Теплоизоляция из наполненного газом пенополиуретана имеет толщину 30–50 мм и 80–100 мм в зависимости от класса теплоизолированного кузова.

Для защиты пола от повреждений его выполняют из алюминиевого профиля с каналами для циркуляции воздуха или из панелей с верхним слоем из влагостойкой фанеры (10 мм), покрытой полиэфирными смолами.

Для слива конденсата из кузова имеются дренажные отверстия, закрывающиеся пробками снаружи.

Внутри кузова находится оборудование для размещения и закрепления груза (съёмные опорные направляющие для пакетированного груза, подвесные балки для мясных полутуш), а также распределения воздуха (воздуховоды, дефлекторы).

Для ведения загрузочно-разгрузочных работ предусматривают двухстворчатые двери в задней торцевой стене на полный ее профиль, а также могут быть дополнительные боковые двери. Уплотнение дверных проемов делают двойным: наружное и внутреннее многослойное, что обеспечивает герметичность дверного проема в сочетании с запорным механизмом.

Кузов может иметь несколько охлаждаемых отсеков обычно с разными температурами, со стационарными или передвижными перегородками; последние позволяют изменять объем отсека по мере необходимости.

Изотермические автомобили. Они применяются для перевозок предварительно охлажденных (или замороженных) продуктов в условиях, в которых повышение температуры за время погрузки, выгрузки и транспортирования не отразится на качестве продуктов. Например, ры-

бу, замороженную до -40°C , можно транспортировать без охлаждения в течение 5–6 дней.

Автомобили, охлаждаемые холодильными веществами. Они используются в основном для внутригородских перевозок продуктов и охлаждаются диоксидом углерода, эвтектическим льдом или жидким азотом.

Внутригородская доставка продуктов характеризуется частыми остановками продолжительностью 20–30 минут, во время которых выгружают партии продуктов. Теплоприток через открытые двери в результате частого их открывания составляет в теплое время года основную часть тепловой нагрузки. Поэтому система охлаждения должна быть рассчитана на работу в условиях чередующихся пиков тепловой нагрузки.

Низкая температура кипения охлаждающих веществ и сублимации твердого диоксида углерода, а также возможность изменения массы подаваемого охлаждающего вещества в широком диапазоне, обеспечивают требуемую скорость охлаждения воздуха. Кроме того, эти системы просты по структуре и в обслуживании, не привязаны к источнику энергии, имеют небольшие размеры и массу, работают бесшумно, им не требуются устройства для таяния инея и циркуляции воздуха в кузове, высокая концентрация азота и диоксида углерода в охлаждаемом объеме способствуют сохранению качества продуктов.

Недостатками системы охлаждения жидким азотом являются большой расход вещества, в том числе при хранении (до 2,5%), и необходимость иметь сеть запасных станций.

Системы охлаждения диоксидом углерода являются более простыми по структуре и при техническом обслуживании, надежными и безопасными. Удельная холодопроизводительность при поддержании температуры воздуха -18°C у твердого CO_2 в 1,7 раза больше, чем у жидкого азота, а у жидкого CO_2 она незначительно меньше. Газообразный CO_2 значительно тяжелее азота, поэтому продолжительность проветривания кузова меньше. Он безопасней азота, так как человек ощущает его присутствие в воздухе.

Наиболее широко распространены системы охлаждения твердым CO_2 , как более простые, надежные и безопасные. Но их работу трудно автоматизировать и им свойственен значительный расход CO_2 (в среднем 10–12 кг/ч при перевозках в городе).

Один из вариантов системы охлаждения сухим льдом включает теплоизолированный сосуд, содержащий сухой лед и имеющий развитую теплообменную поверхность, которую омывает воздух, циркулирующий с помощью вентилятора между кузовом и охлаждающей поверхностью с

температурой -79°C . Газообразный CO_2 , образующийся при сублимации сухого льда, отводится в окружающий воздух. Температура воздуха в кузове поддерживается автоматически путем включения и выключения вентилятора.

Система охлаждения располагается вне кузова на его передней стенке над кабиной водителя. Сухой лед в количестве 100 кг в виде гранул или мелких кусочков загружают в контейнер через крышку сверху. Достоинством этой системы являются возможность изменять холодопроизводительность системы и наличие атмосферного воздуха в кузове.

Системы охлаждения жидкими CO_2 и азотом применяют тогда, когда доставка груза сопровождается частыми остановками для разгрузки; кузов имеет несколько температурных отсеков.

Система охлаждения простая, без механизмов. Жидкий CO_2 хранится в сосуде при давлении 2,1 МПа, температуре -18°C . Регулятор температуры, поддерживающий заданный режим в кузове, периодически открывает вентиль на трубопроводе, по которому жидкий CO_2 из сосуда поступает в распределительный коллектор и в кузов. В сосуде высокое давление, поэтому в системе нет газификатора.

Система охлаждения эвтектическим льдом, находящимся в плитах, которые являются батареями-аккумуляторами применяется при перевозке мелких партий замороженных продуктов. Плиты размещаются на стенах и потолке кузова и за счет таяния льда они обеспечивают поддержание заданной температуры воздуха (до -25°C) в кузове.

Заряжают аккумуляторы (замораживают раствор) обычно во время стоянки автомобиля в гараже, используя стационарную холодильную установку или установленную на шасси этого автомобиля.

Система охлаждения с эвтектическим льдом проста по устройству и техническому обслуживанию, надежна. Но она имеет недостатки: большую массу, ее холодопроизводительность изменяется в узком диапазоне.

Хорошими эксплуатационными свойствами обладают комбинированные системы охлаждения, например, машинное охлаждение с аккумуляцией холода эвтектическим льдом или азотное охлаждение также с аккумуляцией холода. Наличие аккумулятора холода позволяет использовать холодильную машину с меньшей холодопроизводительностью или расходовать меньшую массу азота, например, охлаждать жидким азотом только в теплое время года.

Автомобили, охлаждаемые холодильными агрегатами. Они наиболее распространены и используются для перевозки продуктов, как в пределах города, так и между государствами, так как могут работать

непрерывно, поддерживать различные температуры воздуха в кузове и нагревать кузов при необходимости.

Холодильное оборудование, выполненное в облегченном варианте, komponуют в виде двух блоков так, что воздухоохладитель находится в охлаждаемом объеме, а остальное холодильное оборудование располагают передней торцевой части кузова рис. 8.3.

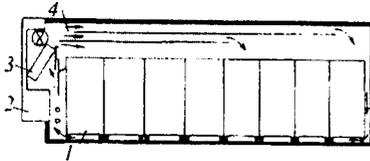


Рис. 8.3. Схема кузова автомобиля, охлаждаемого холодильным агрегатом:

1 — поддоны с грузом; 2 — холодильный агрегат; 3 — воздухоохладитель; 4 — воздуховоды

В зависимости от тепловой нагрузки (емкости кузова) применяют различные виды привода компрессора: от основного двигателя автомобиля посредством гидropередачи или специальной муфты; от автономного двигателя (бензинового, дизельного, газового); от дизель-генератора. В автомобилях с кузовом вместимостью до 60 м³ используют привод от основного двигателя, а в автомобилях с большей вместимостью — от автономного двигателя или дизель-генератора. Кроме того, обычно имеется резервный электродвигатель для привода компрессора во время длительной стоянки от стационарного источника однофазного или трехфазного тока.

Воздухоохладители обеспечивают подачу воздуха с кратностью 30–60 объемов пустого кузова в час и поддержание температуры выше –12 °С с точностью 1 К.

Оттаивание воздухоохладителей в основном осуществляют горячим паром хладагента, но используют и электрические нагреватели.

В зимний период кузовы нагревают горячим паром хладагента или электронагревателями. Для этого систему управления переключают на режим нагревания (отопления). Наиболее экономичной является система нагрева горячим газом, схема которой подобна показанной на рис. 13.4. При этом хладагент циркулирует в системе так же, как при оттаивании, но температура воздуха в кузове поддерживается автоматически.

Работа холодильной (нагревательной) установки автоматизирована на базе микропроцессора. Пульт управления может находиться в кабине водителя, что позволяет водителю постоянно контролировать работу установки.

Системы машинного охлаждения имеют основное достоинство — гибкость функционирования, а недостатки: сложность структуры, высокая стоимость, значительное потребление дорогостоящего топлива, вы-

сокий уровень шума при работе, необходимость периодического проведения технического обслуживания и ремонта.

Основными направлениями развития холодильного автомобильного транспорта являются: создание экономичных и экологически чистых систем охлаждения; применение теплоизоляционных панелей типа сэндвич с $k = 0,3 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$; секционирование охлаждаемого объема для возможности одновременной перевозки охлажденных и замороженных продуктов; повышение точности поддержания температуры воздуха и равномерности температурного поля в охлаждаемом объеме путем увеличения кратности воздухообмена до 100 (вместо 60) объемов в час.

8.3 Воздушный холодильный транспорт

Воздушный холодильный транспорт непрерывно развивается, так как потребность в свежих (высококачественных) продуктах постоянно увеличивается. Им в настоящее время перевозятся многие виды скоропортящихся продуктов. Однако вследствие высокой стоимости, основную часть перевозок составляют продукты, быстро теряющие качество и имеющие высокую стоимость: морские деликатесные продукты, экзотические фрукты, ягоды, цветы. Существует много постоянно действующих линий воздушных перевозок, например, морепродуктов из Японии в США и Европу; мяса и ягод из Австралии в Европу; ягод и цветов из Израиля в Европу и др.

Перевозимые продукты размещают на поддонах и в контейнерах (изотермических, холодильных и без изоляции), приспособленных к транспортированию в самолетах. На постоянно действующих линиях перевозок продукты предварительно охлаждаются.

Контейнеры, перевозимые воздушным транспортом (авиалайнерами типа Боинг-757, Ил-76, Ан-124, а также аэробусами типа А-340), отличаются от контейнеров для наземного и водного транспорта. Их характеристики пока не регламентированы международными стандартами.

Наиболее распространены контейнеры вместимостью до 3 м^3 , которые могут транспортироваться пассажирскими (в грузовом отсеке) и транспортными самолетами с фюзеляжами различного типа.

На постоянно действующих линиях воздушных перевозок используют контейнеры относительно большей вместимости, например, контейнеры половинной ширины фюзеляжа вместимостью до 6 м^3 (рис. 8.4) и

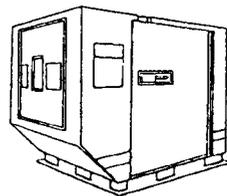


Рис. 8.4. Холодильный контейнер, перевозимый воздушным транспортом

полной ширины фюзеляжа вместимостью до 20 м³. Теплоизолированные (пенополиуретаном толщиной 10–25 мм) контейнеры используют для перевозки замороженных продуктов.

Грузовые помещения, в которых перевозятся продукты, герметичны и вентилируются подогретым (до 15 – 20 °С) и увлажненным заборным воздухом, с кратностью приблизительно 15 объемов в час. При стоянке и разгрузке (загрузке) температура продуктов повышается. Поэтому используют и холодильные контейнеры, охлаждаемые навесными холодильными агрегатами с электроприводом от батарей, жидким азотом, жидким и твердым СО₂. Последний нашел наибольшее распространение.

При перевозке контейнеров, охлаждаемых сухим льдом, в герметичных фюзеляжах возникает проблема из-за повышения концентрации СО₂, значение которой не должно превышать 0,5% по объему. Концентрацию можно изменять, влияя на кратность обмена воздуха в герметичном пространстве, если известна скорость сублимации сухого льда и вместимость герметичного пространства.

8.4 Водный холодильный транспорт

Водный холодильный транспорт подразделяется на морской и речной. Значительная часть средств морского холодильного транспорта обслуживает рыбную промышленность.

Рыбопромышленный холодильный флот состоит из судов различного назначения: добывающих или промысловых, обрабатывающих и приемно-транспортных.

Добывающие холодильные суда (средние рыболовные траулеры, рыбоморозильные траулеры, большие морозильные траулеры и др.) ловят и обрабатывают рыбу. Одни из них вырабатывают готовую продукцию (мороженую рыбу, филе, консервы, рыбную муку) непосредственно в районе промысла, другие — после первичной обработки передают рыбу на обрабатывающие суда. Первые, вырабатывающие готовую продукцию, оснащены холодильной установкой, обеспечивающей получение водного льда в льдогенераторах, замораживание рыбы и филе в скороморозильных аппаратах, хранение мороженой продукции в трюмах. Вторые имеют холодильную установку для холодильной обработки рыбы и кратковременного ее хранения.

Обрабатывающие холодильные суда (производственный рефрижератор, плавабазы) принимают от добывающих судов рыбу-сырец и полуфабрикат, производят готовую продукцию, доставляют ее в порт или передают ее приемно-транспортному судну. Суда этого типа оснащены



Рис. 8.5. Схема расположения охлаждаемых помещений на холодильном транспортном судне

мощной холодильной установкой для получения водного льда в льдогенераторах, для замораживания рыбы в скороморозильных аппаратах и для хранения охлажденной и замороженной продукции в трюмах.

Приемно-транспортные холодильные суда принимают от добывающих и обрабатывающих судов, находящихся в отдаленных акваториях океана, продукцию и транспортируют ее в порт. Это быстроходные суда с трюмами большой вместимости, в которых перевозят охлажденные и замороженные продукты.

Для перевозки продуктов между портами назначения служат транспортные речные и морские холодильные суда, которые подразделяются на универсальные и специализированные, например, судаконтейнеровозы для перевозки холодильных контейнеров.

В настоящее время морские транспортные суда перевозят следующие основные продукты: бананы (30%); citrusовые; фрукты; мясо (32%); рыбу (15%) и др.

Современные универсальные транспортные суда могут перевозить различные скоропортящиеся продукты при температурах от -30 до 14 °С, упакованные на поддонах и хранящиеся навалом. Они также способны перевозить контейнеры массой брутто 20 и 40 т на палубе и в трюме и различные генеральные грузы.

Охлаждаемые помещения содержат два воздухоохладителя, систему воздухораспределения и оборудование для обработки фруктов при транспортировании. Часть помещений имеет систему, поддерживающую в них требуемый газовый состав. Расположение охлаждаемых помещений на холодильном транспортном судне показано на рис. 8.5.

Судовые холодильные установки подразделяют: на производственные, обеспечивающие проведение производственных (технологических) процессов — охлаждение и хранение свежевывловленной рыбы, получение льда для охлаждения рыбы, замораживание и хранение мороженой рыбы, охлаждение и хранение соленой рыбы и консервов; на провизионные, предназначенные для хранения запасов продовольствия для экипажа и пассажиров. А на судах с неограниченным районом плавания

обязательно предусматривают холодильную установку для кондиционирования воздуха.

Судовые холодильные установки эксплуатируются в более сложных условиях, чем стационарные. Например, температура и влажность воздуха, температура забортной воды, интенсивность солнечной радиации изменяются в широком диапазоне; высокая коррозионная активность воздуха и морской воды; наличие вибрации и качки; ограниченность численности персонала и возможности проведения ремонтных работ и другие.

Поэтому к производственным холодильным установкам (в отличие от установок провизионных камер) предъявляются особые требования, изложенные в нормативных документах — морском регистре РФ, речном регистре РФ, регистре Ллойда и др. Эти технические требования направлены на обеспечение условий безопасного плавания, сохранности перевозимых грузов, охраны окружающей среды.

Судовые холодильные установки работают в основном на хладагентах R22, R134a, R407C и R717. Доля аммиачных холодильных установок начинает увеличиваться, но пока она не превышает 20%.

Производственная холодильная установка обычно является центральной. Структура ее такова, что каждый охлаждаемый объект (или объекты с одинаковой температурой кипения) имеет по сути индивидуальный холодильный агрегат, который может заменить другой в случае отказа. Например, на судне имеется четыре трюма, один скороморозильный аппарат и система кондиционирования воздуха. В этом случае холодильная установка включает шесть холодильных машин, каждая из которых обслуживает свой объект.

Современная судовая холодильная установка комплектуется блочными холодильными машинами с винтовыми компрессорами с экономайзерами, водяными конденсаторами и другими элементами.

Охлаждение морозильных аппаратов и льдогенераторов обычно непосредственное, а охлаждение трюмов (и твиндеков) — косвенное. Непосредственное охлаждение трюмов нежелательно из-за трудностей обеспечения герметичности системы, которые связаны с постоянными и значительными вибрациями и деформациями корпуса судна, а также тем, что во время рейса практически невозможно попасть в охлаждаемые помещения.

Однако непосредственное охлаждение особенно для транспортных установок имеет много достоинств, так как считается, что судовые установки с рассольным охлаждением по сравнению с установками с непосредственным охлаждением имеют массу больше в 2,3 раза, площадь помещений больше в 1,5 раза, стоимость больше в 1,4 раза. Так как рас-

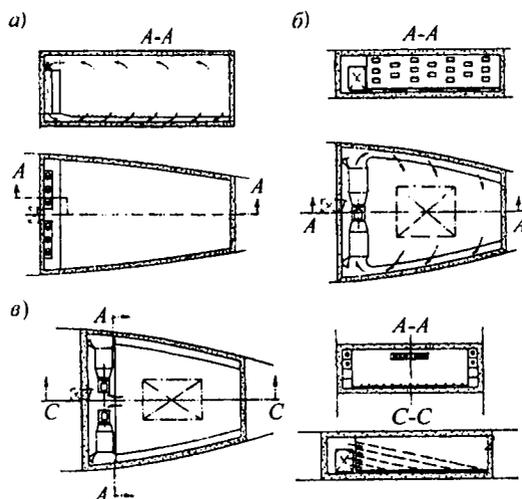


Рис. 8.6. Системы воздухораспределения

сольное охлаждение требует повышенного на 20—25% расхода энергии, то это вызывает соответственное изменение показателей силовой установки (массы, возимого топлива).

Охлаждение трюмов и твиндеков на судах, оборудованных аммиачными холодильными установками, обычно рассольное, так как правилами морского регистра РФ применение аммиака для непосредственного охлаждения трюмов на судах запрещено. Непосредственное охлаждение аммиаком возможно в аппаратах для замораживания рыбы и в льдогенераторах.

Для охлаждения помещений, предназначенных для хранения замороженных продуктов, применяют батарейное и воздушное охлаждение. Батареи чаще выполняют из гладких и ребристых труб; реже — из панельных элементов, занимающих меньший объем, чем рассольные двухрядные батареи.

На судах современной постройки применяют главным образом воздушное охлаждение, обеспечивающее 80—120-кратный обмен воздуха в помещениях.

При воздушном охлаждении помещений применяют различные системы воздухораспределения, но наиболее распространены три — с вертикальной циркуляцией воздуха, горизонтальной и система Робсона (рис. 8.6).

Система с вертикальной циркуляцией воздуха (рис. 8.6,а) характеризуется тем, что воздух подается из воздухоохладителей под ре-

щетчатый настил трюма, проходит снизу вверх через штабель груза и всасывается воздухоохладителем на подволоке (в верхней части помещения).

Система с горизонтальной циркуляцией воздуха (рис. 8.6,б) выполнена так, что холодный воздух из воздухоохладителей сначала подается в продух, идущий вдоль бортов, а из него — под решетчатый настил трюма и в воздухоохладители. Для равномерного распределения воздуха по длине помещения в продухах выполнены направляющие.

Система Робсона обеспечивает подачу холодного воздуха из воздухоохладителей в воздухопроводы, идущие вдоль бортов с наклоном вниз, затем под решетчатый настил трюма, далее через штабель вверх и всасывается в воздухоохладители (рис. 8.6,в).

Груз в помещениях укладывают без проходов. Штабель груза укрепляют деревянными рейками, которые устанавливают вертикально и горизонтально в штабеле. Охлаждающие устройства и воздухопроводы защищают от повреждения деревянными решетками.

Контейнеровозы. Эти суда используют для длительных перевозок при наличии встречного потока грузов. При перевозке на короткие расстояния применяют суда типа «ро-ро» (вкатить-выкатить), на которых транспортируют холодильные автомобили и холодильные контейнеры на шасси автомобиля.

Контейнеры перевозят в основном в трюмах (приблизительно 70%) и частично на верхней палубе в 2–4 яруса. Их охлаждают с помощью центральной судовой холодильной установки, групповых или индивидуальных контейнерных холодильных агрегатов.

В последние годы повысились требования к точности поддержания режима хранения перевозимых продуктов и увеличился их ассортимент. Поэтому появились индивидуальные навесные холодильные агрегаты, которые крепятся к всасывающему и нагнетательному отверстиям, расположенным в торцевой части контейнера, быстродействующими затворами. Холодильный агрегат включает воздухоохладитель и систему поддержания определенного газового состава.

Контейнеры, транспортируемые на верхней палубе, охлаждаются с помощью индивидуальных и групповых холодильных агрегатов. Групповые холодильные установки выполнены в виде моноблока с размерами стандартного контейнера. Они соединяются с контейнерами теплоизолированными воздухопроводами, по которым подается воздух центробежными вентиляторами.

8.5 Холодильные контейнеры

Контейнер — это многократно оборачивающаяся тара для перевозок и временного хранения грузов. Причем груз обычно перевозится разными видами транспорта, без перегрузки, перегружается сам контейнер. Это обеспечивает сохранность груза, уменьшает его потерю от повреждения, улучшает санитарные условия.

Использование контейнеров позволяет повысить производительность труда на загрузочно-разгрузочных операциях в четыре-пять раз по сравнению с обычными перевозками, резко уменьшить простои транспортных средств под погрузкой, ускоряет перевозки вследствие уменьшения количества грузовых операций. В то же время контейнеризация требует больших затрат: контейнеры, контейнерные (терминалы) площадки для хранения контейнеров и станции их технического обслуживания, погрузочно-разгрузочные механизмы, развитая транспортная сеть и т. д.

Контейнеризация обычно целесообразна при смешанных перевозках на большие расстояния на постоянных линиях, когда имеется встречный поток грузов.

Контейнеры классифицируют по грузоподъемности (длине) на крупнотоннажные масса брутто 30 т (длина 12,19 м или 40 футов); среднетоннажные — масса брутто 20 т (длина 6,06 м или 20 футов) и малотоннажные — масса брутто 10 т (длина 3,05 м или 10 футов). Контейнеры имеют одинаковые размеры по высоте и ширине 2438 мм или 8 футов, кроме контейнеров (типа 1АА), предназначенных для перевозки мяса в подвешенном состоянии, имеющих несколько увеличенную высоту 2591 мм или 9 футов.

Основой контейнерного парка являются крупнотоннажные контейнеры массой брутто 20 (тип IC) и 30 т (тип IA). Но в последнее время увеличивается использование небольших контейнеров (до 1,5 т) для внутригородских и междугородних перевозок небольших партий продуктов.

Холодильные контейнеры могут быть: изотермическими, охлаждаемыми холодильными агрегатами или холодильными веществами и отапливаемыми.

Холодильные контейнеры рассчитывают на эксплуатацию при температурах наружного воздуха $-40 \dots -45^\circ\text{C}$. Номинальный режим работы контейнеров: охлаждаемых $t_{\text{пм}} = -20^\circ\text{C}$ при $t_{\text{н}} = 45^\circ\text{C}$, нагреваемых $t_{\text{пм}} = 16^\circ\text{C}$ при $t_{\text{н}} = -40^\circ\text{C}$. Холодильная (нагревательная) установка должна выполнять свои функции при $t = 55 \dots -50^\circ\text{C}$ и атмосферном давлении 83–105 кПа. При перевозке фруктов должна быть

предусмотрена вентиляция, обеспечивающая объемную подачу от 1,5 до 5,9 м³/ч.

Контейнер в общем случае состоит из теплоизолированного кузова с дверью, оборудованного устройствами для воздухораспределения и крепления груза, и машинного отделения (отсека). Кузов контейнера имеет несущий металлический каркас, наружную и внутреннюю обшивки, объединенные газонаполненным пенополиуретаном. Наружную обшивку выполняют из гладких или гофрированных металлических (стальных, алюминиевых) или пластмассовых листов, а в некоторых случаях фанерой, покрытой синтетической смолой. Крепление наружной обшивки к каркасу осуществляется сваркой, заклепками или винтами.

Для внутренней обшивки используют листы из нержавеющей стали, алюминия, стеклопластика или фанеры, покрытой синтетической смолой, которые крепятся к каркасу заклепками и винтами.

Для обеспечения циркуляции воздуха между грузом и стенкой, а также для крепления груза, внутренняя обшивка имеет выступы различной конфигурации.

Пенополиуретановая теплоизоляция, обычно наполненная газом, имеет толщину от 90 до 120 мм.

Внутри кузовов оборудован настилом пола, воздухопроводом, фиксаторами для перевозки мяса в подвешенном состоянии. Настил пола выполняют из алюминиевого проката Т- или П-образного профиля, образующего продольные каналы, по которым под грузом циркулирует воздух.

Воздуховоды (металлические, пластмассовые, тканевые) длиной от 0,3 до 0,7 длины кузова располагаются над грузом. Контейнер имеет дверной проем шириной не менее 2,2 м, закрывающийся двухстворчатыми дверьми с углом раскрытия не менее 270°. Дверной проем герметизируют двойным уплотнением (наружным и внутренним), выполненным из нескольких слоев резины различного профиля. Двери контейнеров имеют большую (на 20–30%) толщину изоляции и оснащаются запорными устройствами натяжного действия.

Изотермические контейнеры. Они используются для перевозки охлажденных и замороженных пищевых продуктов на небольшие расстояния по так называемым кольцевым маршрутам. Доля этих контейнеров в общем парке незначительна.

Контейнеры, охлаждаемые холодильным веществом. Эти контейнеры охлаждаются жидким азотом, диоксидом углерода и эвтектическим льдом. Наиболее распространена азотная система охлаждения.

Контейнеры, охлаждаемые холодильной машиной. Такую систему охлаждения имеют приблизительно 90% контейнеров мирового

парка. В связи с разнообразием условий смешанных перевозок применяют различные типы контейнеров и холодильных (нагревательных) установок.

Так, при транспортировке наземным транспортом часто применяют встроенную в габариты контейнера холодильную (нагревательную) установку с индивидуальным приводом от дизель-генератора. Эта блочная установка размещается в торце в верхней части контейнера, а блочный дизель-генератор — в нижней.

Иногда наряду с тепловым двигателем устанавливают и электродвигатель. В случае привода от теплового двигателя электродвигатель работает как генератор, дающий ток для привода вентиляторов конденсатора и воздухоохладителя, что позволяет исключить ременную передачу.

Есть контейнеры со встроенным холодильным агрегатом без дизель-генератора. Полезная вместимость таких контейнеров больше. Эти контейнеры используют при централизованном электроснабжении на постоянных транспортных линиях, при непродолжительном хранении в пунктах перегрузки.

При смешанных перевозках морским и наземным транспортом или часто меняющихся маршрутах используют контейнеры со съемной встроенной или навесной холодильной установкой. Навесной блок выходит за габариты контейнера на 0,5 м по длине.

Развитие морских перевозок привело к созданию специализированных морских контейнеров с повышенной коррозионной защитой материалов и прочностью конструкции. Морские контейнеры бывают двух видов: охлаждаемые индивидуальной установкой, снабжаемой электроэнергией от электрической системы корабля, и охлаждаемые центральной (или групповой на 7–9 контейнеров) холодильной установкой, с которой они соединены воздухопроводами. Последние имеют в торцевой стенке два отверстия (рис. 8.7) для соединения с воздухопроводами (всасывающим и нагнетательным) посредством быстродействующих затворов.

Холодильные установки контейнеров подобны установкам наземных транспортных средств. Но условия эксплуатации контейнерных установок более тяжелые, поэтому их оборудование имеет исполнение, обеспечивающее повышенную коррозионную стойкость, пыле- и влагозащи-

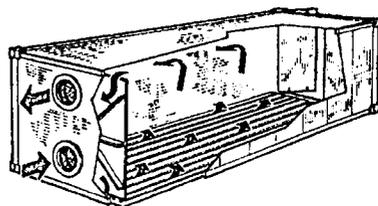


Рис. 8.7. Холодильный контейнер, подключаемый к воздуховодам центральной холодильной установки

ценность, виброустойчивость, прочность, а также работоспособность при кренах до 30° и дифферентах до 6°.

Компрессоры в основном поршневые бессальниковые или спиральные герметичные, обладающие высокой надежностью.

Конденсаторы ребристые с воздушным охлаждением. Однако в установках для морских контейнеров предусматривают также водяное охлаждение ресивера-конденсатора, который имеет штуцера для быстрого соединения с системой водоснабжения судна. Водяное охлаждение улучшает условия работы компрессора и уменьшает тепловыделение в трюме.

Система автоматического управления включает вентилятор воздушного конденсатора и прекращает подачу воды при снижении давления конденсации до предельного значения. Воздухоохладители — ребристые, размещаются в теплоизолированном пространстве. Воздух подается одним или несколькими осевыми вентиляторами.

Для оттаивания испарителей и обогрева контейнеров применяют трубчатые электронагреватели или горячий пар хладагента (см. рис. 13.4). Поддон воздухоохладителя и трубопровод дренажирования талой воды нагреваются электронагревателями.

Холодильные установки контейнеров работают автоматически, с записью режима работы в течение большого промежутка времени (до 30 и более суток).

Процессом оттаивания управляет реле разности давлений, контролирующее разность давлений воздуха до и после воздухоохладителя. Иногда работу реле разности давлений дублирует реле времени. Оттаивание прекращается по команде реле температуры, которое контролирует температуру поверхности батареи воздухоохладителя.

Дальнейшее совершенствование холодильных контейнеров связано с повышением точности поддержания температуры и влажности воздуха путем улучшения воздухообмена и повышения кратности воздухообмена до 120 объемов в час; с увеличением уровня надежности путем использования герметичных спиральных компрессоров; с уменьшением их негативного влияния на окружающую среду путем снижения уровня шума и использованием хладагентов R134a, R404A, R410A; с уменьшением массы и размеров блочных холодильных агрегатов; с использованием оборудования для поддержания модифицированной газовой среды при перевозке зеленых фруктов и овощей.

Работа оборудования автоматизирована с использованием средств на микропроцессорной базе. Автоматические системы обеспечивают регулирование температуры, относительной влажности воздуха, концентраций CO₂, O₂ и этилена, защиту от опасного режима, контроль и сиг-

нализацию. Системы контроля (мониторинга) и диагностики способны работать автономно с записью данных в течение 30 суток и более, а также с передачей данных по спутниковой связи.

Контейнерные пункты (терминалы). Они необходимы для перегрузки и кратковременного хранения контейнеров на железнодорожных станциях, в портах и на предприятиях. Пункты оснащены погрузочно-разгрузочными механизмами, системами электро- и водоснабжения, канализации, имеются мастерские для проведения технического обслуживания и ремонта. Они могут быть оборудованы стационарными и передвижными холодильными установками. Передвижные установки могут охлаждать от 2 до 72 контейнеров (в зависимости от исполнения) воздухом, подаваемым центробежным вентилятором по теплоизолированным воздуховодам. Такие холодильные установки смонтированы в контейнере, имеют комплект воздухопроводов с устройствами для быстрого соединения и с охлаждаемыми контейнерами. Контейнеры со встроенными холодильными агрегатами подключают к центральной системе электро-снабжения.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ХОЛОДИЛЬНЫХ МАШИН

9.1 Физические принципы получения низких температур

Для получения низких температур используют физические процессы, которые сопровождаются поглощением теплоты. К числу таких основных процессов относятся: фазовый переход вещества, сопровождающийся поглощением теплоты извне — плавление, кипение (испарение), сублимация; изоэнтропное дросселирование газа с начальной температурой, меньшей температуры верхней точки инверсии (эффект Джоуля-Томсона); вихревой эффект (эффект Ранка-Хильша); термоэлектрический эффект (эффект Пельтье).

Диапазон низких температур, получаемых для удовлетворения потребности различных сфер деятельности, весьма широк — от температур окружающей среды до температур, близких к абсолютному нулю. Поэтому он подразделяется на область умеренно низких (до -153°C или 120 К) и криогенных (ниже 120 К) температур.

Фазовый переход вещества. Плавление, кипение (испарение), сублимация ряда веществ происходит при низких температурах и с поглощением значительного количества теплоты.

Наиболее доступным веществом, применяемым для получения относительно низких температур, является водный лед, который при атмосферном давлении плавится при 0°C и имеет большое значение удельной теплоты плавления 335 кДж/кг. Более низкую температуру плавления можно получить, смешивая снег или дробленый лед с некоторыми солями. Таким путем можно понизить температуру плавления смеси, увеличивая массовую долю соли, до так называемой *криогидратной* (*эвтектической*) температуры — самой низкой температуры плавления данной смеси. Например, в криогидратной точке при массовой доли хлорида кальция 29,9% смесь плавится при температуре -55°C .

Процесс кипения различных веществ наиболее широко применяют для получения низких температур. Дело в том, что температура кипения вещества зависит от давления: с уменьшением давления температура кипения понижается и наоборот. Следовательно, с помощью одного вещества можно получить диапазон низких температур, а выбирая вещества с нужными свойствами — любую из низких температур.

Процесс испарения используют в основном для понижения температуры воды или влажных поверхностей.

Процесс сублимации применяют в тех случаях, когда охлаждающим веществом являются водный лед или твердый диоксид углерода. Водный лед при атмосферном давлении сублимирует при температуре ниже нуля. Сублимацию водного льда при давлении ниже атмосферного используют при сублимационной сушке пищевых продуктов и медицинских препаратов.

Твердый диоксид углерода (сухой лед) при атмосферном давлении сублимирует при температуре $-78,5^{\circ}\text{C}$ и имеет удельную теплоту сублимации 574 кДж/кг . Он довольно широко используется для охлаждения продуктов в сфере торговли и на транспорте.

Изоэнтропное дросселирование. Так называют необратимое расширение газа при его прохождении через устройство (дроссель, пористую перегородку) с большим аэродинамическим сопротивлением. Процесс протекает быстро, поэтому теплообмен с окружающей средой практически не происходит и энтальпия вещества не изменяется. Полезная работа не совершается, так как работа проталкивания газа переходит в теплоту трения.

При изоэнтропном дросселировании реального газа в отличие от идеального совершается работа против сил взаимодействия молекул вследствие изменения внутренней энергии. Это приводит к изменению температуры газа (эффект Джоуля—Томсона): повышению или понижению в зависимости от параметров его первоначального состояния.

Для всех газообразных веществ в области, близкой к критической, изоэнтропное дросселирование приводит к понижению температуры. В сверхкритической области существует множество состояний газа, называемых *точками инверсий*, в которых эффект изменения температуры меняет знак. Совокупность этих точек представляет собой кривую, называемую *инверсионной кривой*. Выбирая начальные параметры состояния газа, можно осуществить процесс, сопровождающийся понижением температуры газа. Изоэнтропное дросселирование используют для получения умеренно низких и криогенных температур.

Изоэнтропное расширение газа. Получение низких температур в результате изоэнтропного расширения газа с отдачей полезной внешней работы возможно при любом состоянии газа, так как температура изменяется в сторону понижения. Кроме того, в отличие от дросселирования значение понижения температуры газа при прочих равных условиях больше и эффект возможен для идеального газа. Изоэнтропное расширение газа в детандере (устройстве для расширения) применяют для получения умеренно низких и криогенных температур.

Вихревой эффект. Этот эффект наблюдается в устройствах, называемых *вихревыми трубами*. При подаче сжатого воздуха, имеющего температуру окружающей среды, по тангенциальному вводу в трубу происходит его завихрение в пространстве, которое ограничено с одной стороны диафрагмой с отверстием в центре, а с другой — дроссельным вентилем. Скорость вращения воздуха в сечении трубы различна — обратно пропорциональна радиусу. Центральная часть потока обладает большей скоростью, чем периферийная, и она охлаждается, отдавая кинетическую энергию периферийной части, которая нагревается в результате трения. В результате температура воздуха у стенки трубы будет выше, а в центре — ниже, чем температура воздуха, подаваемого в трубу. Это явление называется эффектом Ранка—Хильша. Разделяя центральную и периферийную части потока воздуха, можно получить источники низкой и высокой температур.

Температуры холодного и теплого потоков воздуха зависят от параметров начального состояния воздуха, конструкции вихревой трубы и значения массовой доли холодного потока воздуха $m_{х.п}$ (доли от общего массового расхода). Наиболее низкие температуры получают при $m_{х.п} \approx 0,3$. При подаче в вихревую трубу осушенного воздуха с температурой 20°C и давлением $0,5$ МПа можно получить потоки холодного воздуха с температурой -50°C и горячего воздуха с температурой 110°C . Увеличивая давление, можно достичь более низкой температуры воздуха, например -70°C при $0,8$ МПа.

В вихревой трубе низкая температура получается в результате необратимого расширения воздуха, что обуславливает относительно низкую ее энергетическую эффективность, но более высокую, чем при дросселировании.

Вихревые трубы имеют простую конструкцию, они компактны и просты в эксплуатации. Поэтому их применяют в ситуациях, когда требуется небольшая холодопроизводительность в течение относительно небольшого промежутка времени.

Термоэлектрический эффект. Этот эффект, называемый еще эффектом Пельтье, заключается в том, что при прохождении постоянного электрического тока через цепь, состоящую из разнородных проводников (или полупроводников), в местах их контакта поглощается (появляется низкая температура), либо выделяется (в зависимости от направления тока) некоторое количество теплоты Q , пропорциональное силе тока I

$$Q = \Pi I,$$

где Π — коэффициент Пельтье.

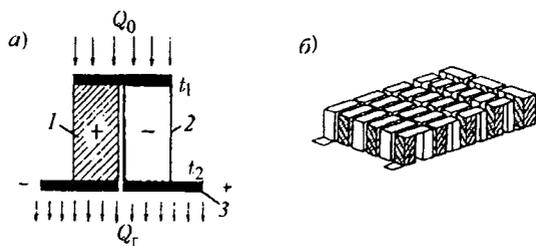


Рис. 9.1. Термоэлемент (а) и термобатарея (б)

Современные термоэлектрические охлаждающие устройства используют полупроводники, которые позволяют получить большую разность температур горячего t_r и холодного t_x спаев, чем при использовании проводников.

Основным модулем термоэлектрического охлаждающего устройства является термоэлемент, состоящий из двух с различным видом проводимости полупроводников: электронного — и дырочного +, так называемых ветвей 1, 2, которые соединены медными шинами (пластинами) 3, образующими холодные и горячие спаи (рис. 9.1, а). Термоэлементы соединяются последовательно в батарею (рис. 9.1, б), из которых компонуют термоэлектрическое охлаждающее устройство.

Термоэлектрическое охлаждающее устройство обычно позволяет получить разность температур между спаями 60 К. Эта разность может быть увеличена до 140 К и более при использовании в устройстве многокаскадных батарей.

Реализация процесса охлаждения. Осуществляя определенный физический процесс, можно получить источник требуемой низкой температуры. А затем, используя его, охладить путем теплообмена объект до заданной температуры. Например, для сохранения качества скоропортящихся пищевых продуктов их необходимо охладить до определенной температуры (предположим 0 °С) и поддерживать эту температуру в течение времени хранения. Для охлаждения продуктов можно использовать различные источники, но с температурой более низкой, чем та, которую должен иметь продукт, чтобы теплота естественным путем (т. е. в соответствии со вторым законом термодинамики) переходила от продукта к источнику.

Следовательно, для осуществления процесса охлаждения достаточно иметь охлаждаемый объект и источник низкой температуры. Охлаждение может продолжаться до тех пор, пока между ними происходит теплообмен. Обычно охлаждение осуществляется непрерывно, поэтому источник низкой температуры должен функционировать постоянно. Это можно обеспечить в двух случаях: при наличии бесконечно боль-

шого запаса расходуемого охлаждающего вещества (например, водного льда) или при его ограниченном запасе, но непрерывно возобновляемом (например, с помощью льдогенератора).

При осуществлении непрерывного процесса охлаждения низкую температуру обычно получают в результате кипения охлаждающего вещества, обладающего требуемыми свойствами.

9.2 Термодинамические процессы и обратный цикл

Для осуществления непрерывного охлаждения требуется по меньшей мере три тела: источник низкой температуры, приемник теплоты и переносящее теплоту от первого ко второму, называемое *рабочим телом* или *хладагентом* (холодильным агентом).

Следовательно, хладагент, претерпевая ряд изменений, должен быть возвращен в первоначальное состояние и непрерывно совершать круговой процесс или цикл. Тогда на одном из участков кругового процесса хладагент получает теплоту от охлаждаемого тела в результате теплообмена. Эта теплота должна быть передана приемнику теплоты, которым обычно является окружающая среда (атмосферный воздух, вода). Температура окружающей среды выше, чем хладагента, поэтому самопроизвольно такой переход теплоты невозможен. Для того чтобы это произошло на другом участке кругового процесса, к хладагенту подводится энергия в виде механической работы или теплоты для повышения его температуры настолько, чтобы хладагент мог передать полученную в предшествующих процессах теплоту окружающей среде. Тогда на следующем участке кругового процесса происходит теплообмен между хладагентом и окружающей средой. И на последнем участке кругового процесса хладагент возвращается в исходное состояние.

В отличие от прямого цикла (цикла тепловой машины), в котором производится работа при переходе теплоты от более нагретого тела к менее нагретому телу, рассмотренный круговой процесс, в котором подводится работа (теплота) для передачи теплоты от менее нагретого тела к более нагретому телу, называется *обратным циклом*.

Виды обратных циклов. Различают три обратных цикла (рис. 9.2): *холодильный* 1–2–3–4, в котором теплота переносится от охлаждаемого тела с низкой температурой T_n к окружающей среде $T_{о,с}$; *теплого насоса* 5–6–7–8, в котором теплота передается от окружающей среды к телу с более высокой температурой T_n , и *комбинированный (теплофикационный)* 9–10–11–12, т. е. состоящий из первых двух.

Холодильный цикл на s – T -диаграмме (энтропия—абсолютная температура) показан на рис. 9.2. В изотермическом процессе 4–1 каждый

килограмм циркулирующего хладагента получает от охлаждаемого тела теплоту q_0 , называемую *удельной массовой холодопроизводительностью хладагента*, которая может быть выражена площадью $a-4-1-b$ и равенством

$$q_0 = T_{II}(s_b - s_a). \quad (9.1)$$

В изэнтропном процессе $1-2$ при затрате удельной работы (то есть отнесенной к 1 кг хладагента) l_k хладагент сжимается и в результате его температура повышается от T_{II} до $T_{0.c}$. Далее в изотермическом процессе $2-3$ каждый килограмм циркулирующего хладагента отдает окружающей среде теплоту q , измеряемую площадью $a-3-2-b$,

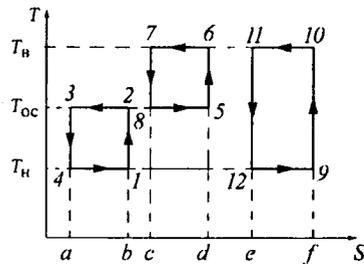


Рис. 9.2. Обратные циклы

$$q = T_{0.c}(s_b - s_a). \quad (9.2)$$

В заключительном адиабатическом процессе $3-4$ хладагент расширяется с получением удельной работы l_p и в результате температура хладагента понижается от $T_{0.c}$ до T_{II} .

Удельная работа цикла будет равна разности удельных работ, затраченной на сжатие хладагента l_k и полученной при его расширении l_p

$$l = l_k - l_p.$$

Работа цикла переходит в теплоту, которая подводится к хладагенту. В соответствии с первым началом термодинамики сумма энергии, подведенной к холодильному агенту, должна равняться сумме энергии, отведенной от него

$$q = q_0 + l. \quad (9.3)$$

Из уравнения (9.3) следует, что $l = q - q_0$.

В $s-T$ -диаграмме удельная работа цикла выражается площадью $1-2-3-4$.

Эффективность осуществления холодильного цикла оценивается холодильным коэффициентом ϵ , равным отношению

$$\epsilon = q_0/l. \quad (9.4)$$

С учетом равенств (9.1) и (9.2) уравнение (9.4) примет вид

$$\epsilon = T_{II}/(T_{0.c} - T_{II}). \quad (9.5)$$

Из выражения (9.5) следует, что эффективность цикла Карно зависит от температур тел, между которыми осуществляется цикл. При постоянной температуре $T_{0,c}$ затрата работы на единицу отведенной теплоты будет тем больше, чем ниже температура T_n . Экономически нецелесообразно использовать для охлаждения источник с более низкой температурой, чем требуется для решения конкретной задачи. Холодильный коэффициент может изменяться в пределах от 0 до ∞ .

Холодильный цикл осуществляется с помощью совокупности технических средств, называемой *холодильной машиной*.

Цикл теплового насоса 5–6–7–8 показан на рис. 9.2. В изотермическом процессе 8–5 к хладагенту подводится удельная теплота q_0 от окружающей среды. В изоэнтропном процессе 5–6 при затрате удельной работы l_k хладагент сжимается и его температура повышается до T_b . Затем в изотермическом процессе 6–7 хладагент передает полученную в предыдущих процессах теплоту $q_b = q_0 + l_k$ телу с высокой температурой. В изоэнтропном процессе 7–8 хладагент расширяется, совершая работу l_p . В этом цикле теплота q_0 соответствует площади $c-8-5-d$, теплота q_b , отданная телу с высокой температурой, выражается площадью $c-7-6-d$, а работа цикла $l = q_b - q_0$ соответствует площади 5–6–7–8.

Энергетическая эффективность теплового насоса оценивается *отопительным коэффициентом μ* , равным

$$\mu = q_b/l = T_b/(T_b - T_{0,c}).$$

Отопительный коэффициент всегда больше единицы и изменяется от 1 до ∞ . Цикл теплового насоса осуществляется совокупностью технических средств, называемой *тепловым насосом*.

Комбинированный цикл 9–10–11–12 показан на рис. 9.2. В изотермическом процессе 12–9 теплота q_0 подводится к хладагенту. В изоэнтропном процессе 9–10 при затрате работы l_k хладагент сжимается и его температура повышается до T_b . В изотермическом процессе 10–11 хладагент передает теплоту q_b источнику высокой температуры. В последнем изоэнтропном процессе 11–12 хладагент расширяется, совершая работу l_p . В этом цикле теплота q_0 выражается площадью $e-12-9-f$, теплота q_b — площадью $e-11-10-f$ и работа цикла — площадью 9–10–11–12.

Энергетическая эффективность комбинированного цикла оценивается двумя коэффициентами: холодильным $\epsilon = q_0/l_x$ и отопительным $\mu = q_b/l_{от}$.

Комбинированный цикл может осуществляться одной машиной, что целесообразней, чем двумя: холодильной машиной и тепловым насосом. Например, такая машина может осушать вымораживанием и подогре-

вать воздух при кондиционировании, нагревать воду и охлаждать молоко на приемных пунктах, охлаждать пищевые продукты и нагревать воздух (воду) для технологических и (или) бытовых целей.

Необратимые потери обратных циклов. Понятие обратимости процессов и циклов — важнейшее в термодинамике. Если процессы, образующие обратный цикл, будут обратимыми, т. е. при их осуществлении не будет остаточных изменений у взаимодействующих тел, то и обратный цикл будет обратимым. Обратимый цикл является образцом (эталонном), так как на его осуществление требуется минимум работы (теплоты). Необратимость подразделяют на внутреннюю и внешнюю. Источник внешней необратимости — наличие конечной разности температур в процессе теплообмена. Источники внутренней необратимости — неравновесные фазовые превращения, смешение потоков вещества, диффузия, дросселирование и трение.

Наличие необратимых потерь в обратном цикле приводит к увеличению затраченной работы, которую определяют по уравнению Гюи—Стодолы

$$\Delta l = T_{0,c} \sum \Delta s, \quad (9.6)$$

где $\sum \Delta s$ — суммарное увеличение энтропии всех тел, участвующих в совершении цикла.

Рассмотрим, каким же должен быть обратимый холодильный цикл, если температуры охлаждаемого тела и окружающей среды будут постоянными (рис. 9.2).

Из условия обратимости следует, что хладагент должен получать теплоту от охлаждаемого тела и передавать ее окружающей среде при постоянных температурах, но отличающихся на бесконечно малое значение, так как разность температур необходима для осуществления теплообмена.

Аналогично и обмен работой между хладагентом и окружающей средой должен происходить при бесконечно малой разности давлений.

Следовательно, при указанных условиях обратимый холодильный цикл должен состоять из двух изотермических и двух изоэнтروпных процессов. Такой цикл называется *циклом Карно*.

Рассмотрим ситуацию, возможную на практике, когда температура охлаждаемого тела переменна, а окружающей среды постоянна (рис. 9.3). Чтобы этот цикл был обратимым, процессы теплообмена между охлаждаемым телом, окружающей средой и хладагентом должны происходить при бесконечно малой разности температур.

Следовательно, линии 1—4 и 3—2, отражающие изменение состояния соответственно охлаждаемого тела и окружающей среды, практиче-

ски совпадут с линиями изменения состояния холодильного агента 4-1 и 2-3. И поскольку процессы сжатия 1-2 и расширения 3-4 хладагента совершаются изоэнтропно, то холодильный цикл 1-2-3-4 является обратимым.

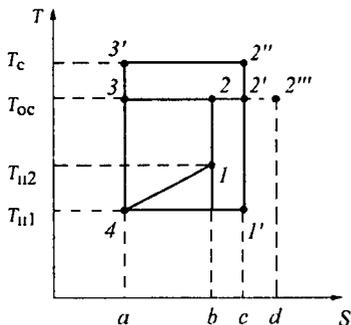


Рис. 9.3. Холодильный цикл с переменной температурой охлаждаемого тела

Рассмотрим показатели цикла Карно, реализованного между теми же телами: охлаждаемым с переменной температурой и окружающей средой с постоянной температурой.

Теплообмен между хладагентом и окружающей средой будет происходить при постоянной температуре $T_{o.c.}$, а вторая изотерма должна проходить через точку 4, чтобы обеспечить отвод теплоты в процессе 4-1.

Следовательно, начальное состояние изотермы T_{H1} известно, а конечное состояние следует искать, исходя из условия равенства удельной теплоты, отведенной от охлаждаемого тела, удельной теплоте, воспринятой хладагентом, т. е. площади под процессами должны быть равны: пл. $a-4-1-b$ = пл. $a-4-1'-c$.

Таким образом, получен цикл Карно 4-1'-2'-3, состоящий из двух изотермических 4-1' и 2'-3 и двух изоэнтропических 1'-2' и 3-4 процессов.

Удельная теплота цикла Карно q_{0K} равна удельной теплоте обратимого цикла $q_{0обр.}$. Удельная теплота q_K , отданная окружающей среде в цикле Карно, больше, чем в цикле с переменной температурой, так как пл. $a-3-2'-c$ больше пл. $a-3-2-b$ на пл. $b-2-2'-c$. Из рис. 9.3 следует, что значение пл. $b-2-2'-c$ можно определить так:

$$T_{o.c.}(s_c - s_b)$$

или с учетом обозначения $s_c - s_b = \Delta s_1$,

$$T_{o.c.}\Delta s_1.$$

В этом обратимом цикле удельная теплота $q_{0обр.}$, воспринятая хладагентом, эквивалентна площади $a-4-1-b$; удельная теплота $q_{обр.}$, переданная окружающей среде, эквивалентна площади $a-3-2-b$; работа цикла $l_{обр.}$ эквивалентна площади 1-2-3-4. Холодильный коэффициент цикла равен

$$\eta_{обр.} = q_{0обр.}/l_{обр.}$$

Тогда можно написать

$$q_K = q_{\text{обр}} + T_{\text{о.с}} \Delta s_1.$$

Удельная работа цикла Карно

$$l_K = q_K - q_{0K} = q_{\text{обр}} + T_{\text{о.с}} \Delta s_1 - q_{0\text{обр}} = l_{\text{обр}} + T_{\text{о.с}} \Delta s_1. \quad (9.7)$$

Из равенства (9.7) следует, что при осуществлении цикла Карно затрачивается больше работы, чем в обратимом цикле, так как теплообмен между охлаждаемым телом и хладагентом осуществляется при конечной разности температур. Дополнительная работа, затрачиваемая в цикле Карно по сравнению с обратимым циклом при одинаковой q_0 , равна

$$\Delta l_1 = T_{\text{о.с}} \Delta s_1.$$

Возрастание энтропии Δs_1 вызвано внешней необратимостью вследствие теплообмена при конечной разности температур.

Холодильный коэффициент цикла Карно

$$\varepsilon_K = q_{0K} / l_K = q_{0\text{обр}} / (l_{\text{обр}} + \Delta l_1) < \varepsilon_{\text{обр}}.$$

Следовательно, холодильный коэффициент цикла Карно, осуществленный при переменной температуре охлаждаемого тела и постоянной температуре теплоотвода, меньше холодильного коэффициента соответствующего обратимого цикла.

Реальные циклы являются необратимыми вследствие необратимости процессов, происходящих при их осуществлении: теплообмена при конечной разности температур, расширения и сжатия при наличии трения, дросселирования.

Степень необратимости может быть различной. Поэтому термодинамическое совершенство цикла определяют сопоставлением его характеристик с характеристиками обратимого цикла при равных значениях удельной массовой холодопроизводительности. Степень обратимости циклов обычно оценивают показателем, называемым *коэффициент обратимости* $\eta_{\text{об}}$, равным отношению холодильных коэффициентов или работ сравниваемых циклов.

Коэффициент обратимости рассмотренного цикла Карно равен

$$\eta_{\text{об.к}} = \varepsilon_K / \varepsilon_{\text{обр}} = l_{\text{обр}} / l_K.$$

Предположим, что теплообмен в изотермическом процессе между хладагентом и окружающей средой происходит также при конечной разности температур. Тогда площадь $a-3'-2''-c$ (рис. 9.3) эквивалентна

удельной теплоте, передаваемой хладагентом окружающей среде. Так как теплота должна быть перенесена на более высокий уровень, то требуется затратить дополнительную работу

$$\Delta l_2 = T_{0,c} \Delta s_2.$$

Увеличение энтропии Δs_2 связано также с необратимостью вследствие теплообмена при конечной разности температур. Значение энтропии Δs_2 можно определить, откладывая по изотерме $T_{0,c}$ от точки 3 отрезок такой длины, чтобы площадь $a-3-2'''-d$ была равна площади $a-3'-2''-c$.

Следовательно, дополнительная работа необратимого цикла $1'-2''-3'-4$ по сравнению с обратимым $1-2-3-4$ составит

$$\Delta l = T_{0,c}(\Delta s_1 + \Delta s_2) = \Delta l_1 + \Delta l_2.$$

Тогда работа цикла Карно $1'-2''-3'-4$

$$l_{K1} = l_{обр} + \Delta l_1 + \Delta l_2.$$

Холодильный коэффициент

$$\varepsilon_{K1} = q_{0K}/l_{K1} = q_{0обр}/(l_{обр} + \Delta l_1 + \Delta l_2) < \varepsilon_K.$$

Коэффициент обратимости

$$\eta_{об.K1} = \varepsilon_{K1}/\varepsilon_{обр} = l_{обр}/l_{K1} = l_{обр}/(l_K + \Delta l_2) < \eta_{об}.$$

Следовательно, степень обратимости данного цикла Карно, меньше предыдущего цикла Карно, что соответствует принципу Гюи—Стодоля: чем больше необратимость (приращение энтропии) цикла, тем больше работы надо затратить для получения одного и того же полезного эффекта.

Таким образом, анализ энергетической эффективности обратных циклов базируется на оценке потерь энергии по сравнению с обратимым (образцовым) циклом. Существует несколько образцовых циклов: Карно, Лоренца, Стирлинга и др. Но, как показано выше, образцовый цикл не является универсальным. Он должен выбираться с учетом конкретных условий взаимодействия хладагента с телами, между которыми совершается цикл.

Методы сокращения необратимых потерь в обратных циклах. Как известно, необратимые потери увеличивают затраты энергии на работу холодильных машин. И сокращение этих потерь имеет важное практическое значение.

Так, рассмотренные выше необратимые потери, связанные с наличием конечной разности температур при теплообмене, уменьшаются с уменьшением разности температур теплообмениваемых тел. Это можно обеспечить, увеличивая площадь теплопередающей поверхности.

Но эффективность такого решения должна обосновываться технико-экономическим расчетом, так как с увеличением площади теплопередающей поверхности охлаждающих устройств возрастает и их цена. Разность температур между источником низкой температуры и хладагентом можно сократить, используя для отвода теплоты не один, а два или три цикла.

Но целесообразность этого решения должна быть обоснована, так как для осуществления циклов необходимы холодильные машины, а значит и дополнительные затраты.

В ситуации, когда температуры охлаждаемого объекта и окружающей среды являются переменными для сокращения разности температур в процессах теплообмена используют хладагент, являющийся смесью веществ с различными температурами фазового перехода при постоянном давлении, который имеет переменную интегральную температуру фазового перехода.

Дросселирование хладагента всегда сопровождается необратимыми потерями, поэтому для сокращения потерь уменьшают начальные значения температуры и давления хладагента.

9.3 Хладагенты

Хладагент, как известно, необходим для осуществления обратного термодинамического цикла. Хладагент может быть веществом (естественным или искусственным) или смесью веществ.

Хладагент должен отвечать многим требованиям, касающимся термодинамических и теплофизических свойств, химической стабильностью и инертностью по отношению к конструкционным материалам и смазочным маслам, а также многочисленных эксплуатационных свойств.

Идеального хладагента нет, поэтому для различных по целевому назначению и условиям эксплуатации холодильных систем выбирают тот, который эффективней других. В связи с этим существует большое число хладагентов, но практическое применение нашли немногие. Так, за время применения искусственного охлаждения использовалось приблизительно 50 веществ и их смесей в качестве хладагентов, из которых примерно 15 наиболее широко. К наиболее распространенным до недавнего времени относятся так называемые *хладоны* (*фреоны*), которые полу-

чены искусственно и представляют собой производные галогенов ациклических (предельных и непредельных) и циклических углеводородов. В частности, это хлорфторуглероды (ХФУ или в английской транскрипции CFC) и гидрохлорфторуглероды (ГХФУ или HCFC).

Хладагент может быть однокомпонентным (чистым веществом) и многокомпонентным (смесью веществ). С термодинамической точки зрения смеси могут быть *азеотропными* и *неазеотропными* (*зеотропными*).

Азеотропная смесь характеризуется постоянством равновесных массовых долей компонентов в жидкой и паровой фазах и постоянством температуры при кипении и конденсации. А неазеотропная смесь отличается различием равновесных массовых долей компонентов в жидкой и паровой фазах и переменными температурами кипения и конденсации при постоянном давлении.

Многокомпонентные хладагенты применяют потому, что изменяя состав и массовые доли компонентов, можно получить такие свойства и характеристики свойств, которые не имеют чистые вещества.

Так, применение смесей позволяет осуществлять циклы с переменными температурами кипения и конденсации, увеличить холодопроизводительность, расширить температурный диапазон использования хладагента, улучшить характеристики цикла. Существенным недостатком неазеотропных смесей является то, что их первоначальный состав изменяется в процессе эксплуатации из-за утечек компонентов.

Хладагенты в соответствии с международным стандартом (ИСО) обозначают буквой R или словом и цифрами, которые соответствуют конкретному веществу или смеси веществ. Так, для хладонов цифры расшифровывают так. Первая цифра в двухзначном номере или первые две цифры в трехзначном номере обозначают тот предельный углеводород C_nH_{2n+2} , из которого получен хладон. Приняты такие цифры: 1 — CH_4 (метан); 11 — C_2H_6 (этан); 21 — C_3H_8 (пропан); 31 — C_4H_{10} (бутан). Следующая цифра справа указывает на число атомов фтора, например, CF_2Cl_2 — R12; CF_3CF_2Cl — R115; $CF_3CF_2CF_2Cl$ — R217. Если есть в молекуле атомы водорода, то к первой цифре у метана и второй у этана, пропана и бутана прибавляют число, равное числу незамещенных атомов водорода: CHF_2Cl — R22; C_2H_5Cl — R143.

В обозначении бромсодержащих хладонов после чисел ставят букву B и цифру, равную числу атомов брома: CF_2ClB — R12B1.

Перед числовым обозначением циклических насыщенных углеводородов ставят букву C: C_4F_8 — RC318.

Асимметричные изомеры галогенопроизводных имеют одинаковое цифровое обозначение с симметричными и букву, после цифр: R134a, R142b.

Чистые углеводороды с числом атомов углерода больше 3 иногда обозначают цифрами, начиная с 600: R600 — *n*-бутан, R600a — изобутан.

Хладагенты, являющиеся смесью веществ, обозначают, указывая компоненты и их массовые доли в порядке повышения нормальной температуры кипения.

Некоторых смеси обозначают цифрами: неазетропные, начиная с 400, например, R401A [R22/R152/R124 (53/13/34)], R404A [R125/R143a/134a (44/52/4)], R410A [R32/R125 (50/50)], а азеотропные (которые в процессах кипения и конденсации не изменяют соотношение массовых долей), начиная с 500, например, R502 [R22/R115 (48,8/51,2)], R503 [R13/R23 (59,9/40,1)], R507 [R125/143a (50/50)]. Смеси обозначают и торговыми марками, например, HP80 [R125/R290/R22 (38/2/60)] фирма Дюпон.

Хладагенты неорганического происхождения обозначают номером, начиная с 700, прибавляя к нему молекулярную массу вещества, например, R717 (аммиак), R718 (вода), R744 (диоксид углерода).

Существует гипотеза о том, что некоторые ХФУ разлагаются в верхних слоях атмосферы Земли под действием излучения с выделением атомов хлора и брома, которые взаимодействуют с озоном в стратосфере. В результате разрушается озоновый слой Земли, который защищает от облучения ультрафиолетовыми лучами солнца людей, животных и растения. Уменьшение концентрации озона в стратосфере представляет глобальную экологическую опасность для существования биологической формы жизни на Земле.

Впервые в международном масштабе эта проблема обсуждалась Венской Конвенцией в 1985 г. Затем в соответствии с Программой ООН по окружающей среде (ЮНЕП) в 1987 г. всеми развитыми странами был подписан Монреальский Протокол по веществам, разрушающим озоновый слой. Протокол предусматривал постепенное сокращение с последующим прекращением использования и производства озоноразрушающих веществ. Кроме того, галогенопроизводные углеводороды по степени влияния на озоновый слой были разделены на три группы:

Первая группа включает ХФУ (CFC), обладающие самым высоким показателем — потенциалом разрушения озонового слоя, обозначаемого ODP (*Ozon Depleting Potention*), например R11, R12, R113, R115, R12B1, R502. Если принять для R12 ODP = 1, то для первой группы ODP > 0,05.

Вторая группа включает ГХФУ (НСFC), в молекуле которых есть водород, снижающий их озonoактивность, с показателем ODP < 0,05, например для R22 ODP = 0,05, R124 ODP = 0,022.

Третья группа включает гидрофторуглероды ГФУ (HFC), у которых ODP = 0, например R23, R32, R125, R134a, R152a.

Монреальский Протокол также установил ограничения на производство, применение и торговлю не только озоноразрушающими хладагентами, но и на то холодильное оборудование, которое предназначено для этих хладагентов. Многие государства также ввели экономические ограничения, например такого рода, что потребитель, покупая озоноразрушающий хладагент или оборудование на этом хладагенте, должен заплатить налог, превышающий стоимость покупаемого товара.

В короткий срок перейти на озонобезопасные хладагенты невозможно, так как требуются новые технологии производства, большие производственные мощности для выпуска хладагентов и нового холодильного оборудования. Поэтому было решено временно (до 2030 г.) использовать существующие хладагенты второй группы, как правило представляющие собой смеси, и ими же заправлять то холодильное оборудование, которое предназначалось для хладагентов первой группы. Такие хладагенты называют, примером являются R401A (R22/R152a/R124), R402B (R22/R125/R290) и др.

В 1997 г. в Киото был принят ряд документов, которые ужесточают ранее введенные ограничения и расширяют область их действия. Например, сокращается срок выпуска ГХФУ, которые должны быть заменены на ГФУ и природные хладагенты.

Кроме того, хладагенты должны незначительно влиять на парниковый эффект Земли. Такое свойство хладагента характеризуют показателем, называемым потенциалом глобального потепления GWP (*Global Warming Potention*), который оценивает данный хладагент по отношению обычно к CO₂, например, R134a имеет GWP = 420, а R22 — GWP = 5100.

Основные свойства хладагентов. Термодинамические (молекулярная масса M , показатель адиабаты k , удельная изoэнтропная работа $l_{из}$, температуры кипения t_o , конденсации t_k , критическая $t_{кр}$, давления кипения p_o , конденсации p_k , критическое $p_{кр}$, удельный объем всасываемого в компрессор пара $v_{вс}$, удельная теплота парообразования r_o и др.) и теплофизические (удельные теплоемкости насыщенной жидкости c' , сухого насыщенного пара c'' , перегретого пара c_p , теплопроводность λ , динамическая вязкость μ , коэффициент поверхностного натяжения σ и др.) характеристики, а точнее комплексы из параметров (c'/r_o , c''/r_o , c_p/r_o , $l_{ад}/v_{вс}$, π , q_v и др.), рассматривают с точки зрения их влияния: на

показатели термодинамического цикла, конструктивные характеристики холодильного оборудования, эксплуатационные и экономические показатели оборудования и холодильных систем в целом.

Кроме того, на характеристики влияют нормальная (при атмосферном давлении) температура кипения. Ее снижение при прочих равных температурах в цикле увеличивает q_v , p_0 , p_k , $p_k - p_0$ и снижает $\pi = p_k/p_0$. Давления p_k и p_0 влияют на прочностные характеристики оборудования. Разность давлений $p_k - p_0$ определяет нагрузку на элементы механизма движения. Отношение давлений π обуславливает число ступеней сжатия, характеристики компрессора (коэффициент подачи λ , эффективный КПД η_e), а совместно с показателем адиабаты k влияет на конечную температуру адиабатного процесса сжатия. Удельная объемная холодопроизводительность q_v влияет на массу и размеры компрессора (геометрические характеристики, теоретическую объемную подачу), диаметры аппаратов и трубопроводов.

Удельная изоэнтروпная работа сжатия $l_{из}$ влияет на мощность компрессора и его приводного двигателя. Она уменьшается при увеличении молекулярной массы M .

Теплофизические свойства влияют на интенсивность теплообмена в аппаратах, которая увеличивается с повышением теплопроводности λ , теплоты фазового перехода r и с уменьшением динамической вязкости μ , удельного объема $v_{вс}$ и поверхностного натяжения σ хладагента.

Кроме того, хладагенты должны быть: инертными по отношению к конструкционным материалам и веществам, с которыми могут контактировать в процессе работы (маслу, воде, хладоносителю, хладагенту); химически стабильными; нетоксичными; пожаро- и взрывобезопасными; взаимно растворимыми с маслом и водой; инертными по отношению к стратосферному озону, а также незначительно влиять на парниковый эффект.

Применение хладагентов. Как известно, универсальных хладагентов нет, поэтому выбирают тот, который в наибольшей степени соответствует требованиям эксплуатации. В большинстве случаев предпочтение отдают хладагентам с минимальными значениями $t_{0,н}$, p_k , Δp , p_i , $l_{из}$, $l_{из}/v_{вс}$, k и максимальными значениями $v_{вс}$, p_k , q_v , c_p/r_0 .

В настоящее время предлагается много новых озонобезопасных хладагентов, но достаточно полных данных по их свойствам нет. А практическое применение сейчас нашли следующие хладагенты: R22, R134a, R404A, R507, R717 в промышленных холодильных установках; R22, R134a, R290, R404A, R507, R744 в торговых холодильных установках; R22, R134a, R717, R744 в тепловых насосах; R22, R134a, R744 в системах кондиционирования воздуха; R22, R134a, R404A, R410A в транс-

портных холодильных установках; R134a, R290, R600a в бытовых холодильных установках.

R22 — это безопасный и универсальный хладагент, используемый во всех видах холодильных установок и в компрессорах любого типа в диапазоне температур $-70 < t_0 < 10^\circ\text{C}$ при $t_k < 35^\circ\text{C}$. Он имеет молекулярную массу $M = 86,47$ кг/кмоль, нормальную температуру $t_{0.н} = -40,9^\circ\text{C}$, входит в состав всех ретрофитных смесей. Но вследствие высокой озонотоксичности $ODP = 0,055$ и $GWP = 1700$ его выпуск должен быть прекращен к 2030 г.

R134a — это новый озонобезопасный хладагент с $ODP = 0$ и $GWP = 420$, не токсичный и не огнеопасный, заменяющий R12 и R22 в некоторых областях, но уступающий им по энергетическим и объемным характеристикам, эксплуатационным показателям. Он имеет массу $M = 102,03$ кг/кмоль, температуру $t_{0.н} = -26,1^\circ\text{C}$ и $r_0 = 198,4$ кДж/кг, входит в состав многокомпонентных хладагентов.

R407C — это трехкомпонентная смесь R32/R125/R134a (23/25/52) — новый озонобезопасный хладагент с $ODP = 0$ и $GWP = 1600$, нетоксичный, неогнеопасный, заменяющий R22 в диапазоне температур $-30 < t < 20^\circ\text{C}$. Он имеет массу $M = 88,83$ кг/кмоль, температуру $t_{0.н} = -44^\circ\text{C}$ и температурную разность $\Delta t_p = 0,72$ К (разность между начальной и конечной температурами фазового перехода при постоянном давлении). Этот хладагент — наилучший из существующих альтернатив R22. Он может использоваться в существующих холодильных установках без существенного их изменения.

R32 — новый озонобезопасный хладагент $ODP = 0$ и $GWP = 580$, нетоксичен, пожароопасен. Он имеет массу $M = 52,02$ кг/кмоль, температуру $t_{0.н} = -51,7^\circ\text{C}$ и $r_0 = 391,5$ кДж/кг и обладает высокими энергетическими показателями. Но ввиду своей пожароопасности используется как компонент в смесях, альтернативных R22 и R502.

R125 — озонобезопасный хладагент, имеющий $ODP = 0$, $GWP = 3200$, массу $M = 120,02$, температуру $t_{0.н} = -48,6^\circ\text{C}$ и $r_0 = 158$ кДж/кг, нетоксичен, непожароопасен. Он применяется как компонент в смесях, альтернативных R22 и R502.

R410A — это двухкомпонентная почти азеотропная смесь R32/R125 (50/50) — хладагент, имеющий $ODP = 0$, $GWP = 1900$, массу $M = 86,02$ кг/кмоль, температуру $t_{0.н} = -52,7^\circ\text{C}$, температурную разность $\Delta t_p = 0,1$ К и $r_0 = 256$ кДж/кг. Он нетоксичный, неогнеопасный, имеет высокие энергетические показатели, а при $t_0 > -10^\circ\text{C}$ и $t_k > 35^\circ\text{C}$ по эффективности не уступает R22 R502.

R507 — это азеотропная двухкомпонентная смесь R125/R143a (50/50) — хладагент, имеющий $ODP = 0$, $GWP = 3800$, массу

$M = 102,03$ кг/кмоль, температуру $t_{o,n} = -46,7^\circ\text{C}$ и $r_o = 196$ кДж/кг, нетоксичен, непожароопасен.

Он близок к R502 по энергетическим характеристикам.

R143a — это новый хладагент, имеющий $ODP = 0$, $GWP = 4400$, массу $M = 84,04$ кг/кмоль, $t_{o,n} = -47,4^\circ\text{C}$ и $r_o = 236,6$ кДж/кг, нетоксичен, пожароопасен. Его энергетические характеристики ниже, чем у R22, но близки к R502. Он входит в состав многокомпонентных смесей, которые могут заменить R22 и R502.

R717 — это природное вещество аммиак, имеющее $ODP = 0$, $GWP = 0$, $M = 17,03$ кг/кмоль, температуру $t_{o,n} = -33,5^\circ\text{C}$ и $r_o = 1369,7$ кДж/кг, токсичное, пожароопасное. R717 наиболее эффективный хладагент для промышленных холодильных установок в диапазоне температур $-50 < t_o < 10^\circ\text{C}$ при $t_k < 55^\circ\text{C}$. С появлением смазочных материалов (например на основе полиальфагликолей), растворимых в аммиаке, стали применяться аммиачные торговые холодильные установки.

R290 — это природное вещество пропан, имеющее $ODP = 0$, $GWP = 3$, массу $M = 44,09$ кг/кмоль, температуру $t_{o,n} = -42,1^\circ\text{C}$ и $r_o = 231,2$ кДж/кг, нетоксичное, пожароопасное. R290 обладает высокой эффективностью в диапазоне температур $-40 < t < 10^\circ\text{C}$. Но вследствие пожароопасности применяется в торговых и бытовых холодильных установках и бытовых кондиционерах, где в систему заправляется небольшая масса хладагента, ограниченная условием — не более $0,043$ кг на 1 м^3 .

R744 — это природное вещество диоксид углерода, характеризующийся $ODP = 0$, $GWP = 1$, массу $M = 44,01$ кг/кмоль, температурой сублимации $t_{суб} = -78,5^\circ\text{C}$ и $r_{суб} = 570,9$ кДж/кг, нетоксичное, непожароопасное. R744 считается перспективным для холодильных установок промышленных, торговых и тепловых насосов, которые укомплектованы оборудованием с рабочим давлением свыше 4 МПа.

R600a — природное вещество изобутан, имеющее $ODP = 0$, $GWP = 3$, массу $M = 58,52$ кг/кмоль, температуру $t_{o,n} = -11,73^\circ\text{C}$ и $r_o = 74,85$ кДж/кг, нетоксичное, пожароопасное. Он применяется как компонент в смеси с R290 в бытовых холодильниках и тепловых насосах.

ХОЛОДИЛЬНЫЕ МАШИНЫ

Классификация холодильных машин. Холодильные машины классифицируют по ряду признаков. Например, в зависимости от вида энергии, используемой для осуществления обратного термодинамического цикла, различают *компрессорные*, если энергия в форме механической работы подводится посредством компрессора, и *теплоиспользующие*, если энергия подводится в форме теплоты.

А в зависимости от состояния хладагента, участвующего в осуществлении термодинамического цикла, холодильные машины подразделяют на *паровые*, если хладагент изменяет агрегатное состояние, и *газовые*, если не изменяет.

В зависимости от числа последовательных ступеней сжатия (особенности подвода энергии) в цикле холодильные машины называют одно-, двухступенчатыми и т. д.

10.1 Паровые холодильные машины

Паровые холодильные машины получили наиболее широкое распространение во всех сферах применения низких температур. Их особенность в том, что цикл может совершаться в области влажного пара хладагента, где изобары совпадают с изотермами, что позволяет осуществить цикл Карно. Кроме того, кипение хладагента сопровождается поглощением значительного количества теплоты, а температуру кипения можно изменять в широком интервале.

10.1.1 Одноступенчатые паровые холодильные машины

Существуют различные одноступенчатые паровые холодильные машины, отличающиеся, например, по схеме (структуре) и процессам.

Холодильная машина с детандером в области влажного пара. Функциональная схема и обратимый цикл Карно, совершаемый ею, показаны на рис. 10.1.

Жидкий хладагент кипит в испарителе IV при постоянной температуре T_0 (процесс 4–1), отводя теплоту от охлаждаемого объекта. Образувавшийся влажный пар изоэнтропно сжимается в компрессоре I до давления p_k (процесс 1–2) и поступает в конденсатор II, где конденсируется при постоянной температуре T_k (процесс 2–3), отдавая поглощенную в предыдущих процессах теплоту окружающей среде, например воде. Затем жидкий хладагент изоэнтропно расширяется в детандере III до давления p_0 (процесс 3–4), совершая полезную работу l_p .

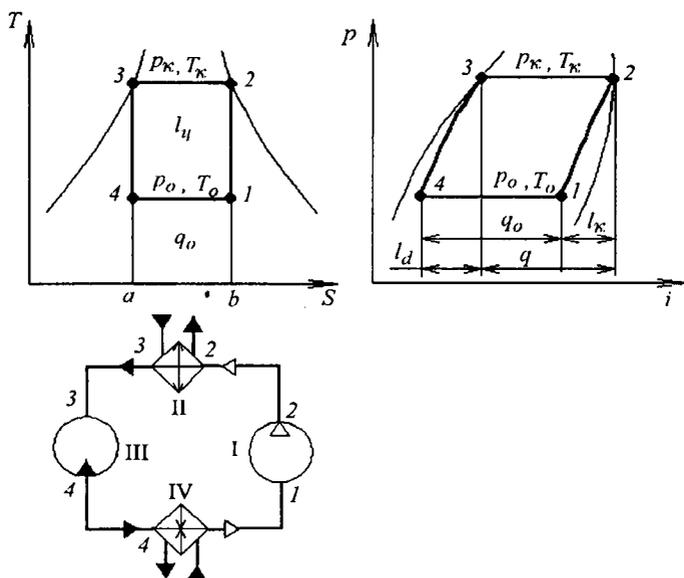


Рис. 10.1. Функциональная схема и цикл холодильной машины с детандером:
 I — компрессор; II — конденсатор; III — детандер; IV — испаритель

Количество теплоты $q_{o,обр}$, отведенное 1 кг жидкого хладагента в испарителе, в $s-T$ -диаграмме измеряется площадью $a-4-1-b$ и может быть представлена как разность энтальпий

$$q_{o,обр} = i_1 - i_4. \quad (10.1)$$

Количество теплоты q , отданное 1 кг хладагента в конденсаторе, измеряется площадью $a-3-2-b$ или разностью энтальпий $i_2 - i_3$. Работа цикла равна разности работ компрессора и детандера

$$l_{обр} = l_k - l_p. \quad (10.2)$$

Работы компрессора и детандера можно выразить уравнениями

$$l_k = i_2 - i_1 \quad (10.3)$$

и

$$l_p = i_3 - i_4. \quad (10.4)$$

Холодильный коэффициент цикла равен

$$\varepsilon_{обр} = q_{o,обр}/l_{обр} = (i_1 - i_4)/[(i_2 - i_1) - (i_3 - i_4)]. \quad (10.5)$$

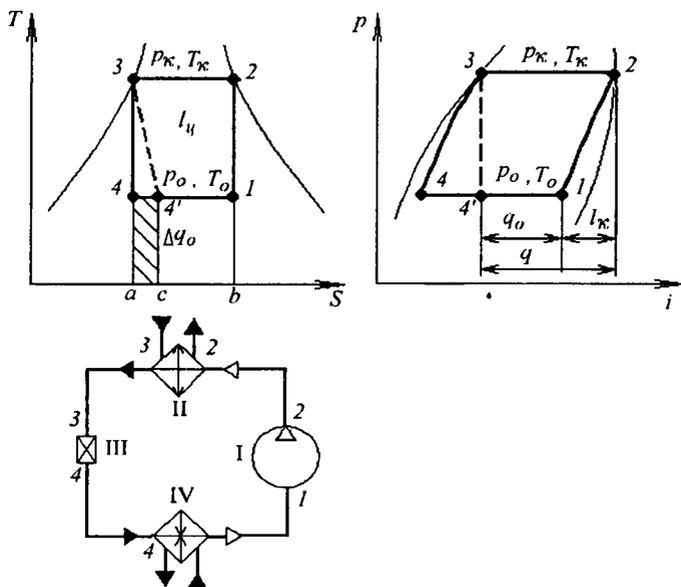


Рис. 10.2. Функциональная схема и цикл холодильной машины с регулирующим вентилем:

I — компрессор; II — конденсатор; III — регулирующий вентиль; IV — испаритель

Рассмотренный цикл Карно является обратимым. Но практически осуществить его трудно по следующим причинам. Работа, полученная в детандере, значительно меньше работы, затраченной в компрессоре, так как жидкость несжимаема, а удельные объемы жидкости и пара отличаются в сотни раз.

Кроме того, часть работы детандера тратится на преодоление сил трения. Поэтому в паровой холодильной машине вместо детандера используют дроссель (регулирующий вентиль).

Холодильная машина с регулирующим вентилем. Функциональная схема и термодинамический цикл показан на рис. 10.2. В состав этой холодильной машины входит регулирующий вентиль III, который проще по устройству и надежней в эксплуатации, чем детандер.

Но в результате замены детандера регулирующим вентилем в цикле появляется необратимый процесс дросселирования $3-4'$, протекающий без производства работы и теплообмена с окружающей средой, т. е. при постоянной энтальпии, поэтому $i_3 = i_4'$. Как известно, при таком дросселировании работа расширения переходит в теплоту трения. По этой причине часть каждого килограмма циркулирующего жидкого хладагента, пропорциональная выделенной теплоте, превращается в пар. В испа-

ритель этот килограмм холодильного агента поступит в виде парожидкостной смеси. Следовательно, только часть каждого килограмма циркулирующего хладагента кипит в испарителе, отводя теплоту, и поэтому удельная массовая холодопроизводительность хладагента уменьшается на значение, пропорциональное площади $a-4-4'-c$

$$\Delta q_0 = i_{4'} - i_4.$$

Тогда получим

$$q_0 = q_{0,обр} - \Delta q_0 = (i_1 - i_4) - (i_{4'} - i_4) = i_1 - i_{4'}. \quad (10.6)$$

Работа этого цикла будет больше, чем обратимого

$$l = l_k = l_{обр} + l_p = i_2 - i_1. \quad (10.7)$$

Холодильный коэффициент цикла

$$\varepsilon = q_0/l = (q_{0,обр} - l_p)/(l_{обр} + l_p) = (i_1 - i_{4'})/(i_2 - i_1) < \varepsilon_{обр}. \quad (10.8)$$

Коэффициент обратимости цикла

$$\eta_{обр} = \varepsilon/\varepsilon_{обр} < 1. \quad (10.9)$$

Следовательно, замена детандера регулирующим вентилем приводит к уменьшению q_0 , ε и увеличению l . И чем больше доля работы детандера, тем больше необратимые потери цикла.

В циклах $1-2-3-4$ и $1-2-3-4'$ (рис. 10.2) из испарителя выходит и в компрессор поступает влажный пар. С практической точки зрения поступление в компрессор влажного пара хладагента нежелательно по двум основным причинам. Во-первых, уменьшается действительная объемная подача компрессора из-за повышения удельного объема всасываемого пара, вызванного испарением капель хладагента в результате теплообмена в трубопроводе и компрессоре и падением давления. Следует отметить, что влажному пару свойственны большие значения коэффициентов трения и теплоотдачи, чем сухому. Во-вторых, возможна аварийная ситуация, связанная с гидравлическим ударом в компрессоре, если капли хладагента не успевают испариться и большой объем жидкости поступает в полости сжатия компрессора.

Холодильная машина с регулирующим вентилем, всасыванием сухого насыщенного и перегретого пара. Учитывая указанные выше недостатки, рассмотрим цикл $1-2-3-4$ (рис. 10.3), в котором в компрессор поступает сухой насыщенный пар.

Для сжатия пара обратимым путем необходимо осуществить два процесса сжатия: изэнтропное $1-2'$ и изотермическое $2'-2''$, для чего требуется два компрессора. Но более практичным будет цикл $1-2-3-4$, так как для его осуществления достаточно одного компрессора.

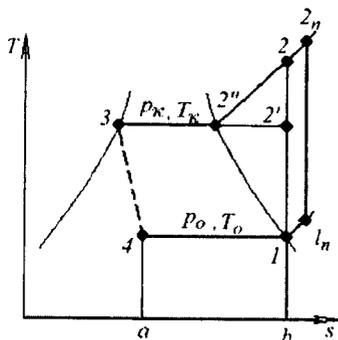


Рис. 10.3. Циклы холодильной машины с регулирующим вентилем, всасыванием сухого и перегретого паров

Удельная массовая холодопроизводительность хладагента в циклах $1-2-3-4$ и $1-2'-2''-3-4$ одинакова

$$q_0 = i_1 - i_4. \quad (10.10)$$

Количество теплоты, отданное 1 кг хладагента в конденсаторе окружающей среде,

$$q = i_2 - i_3 \quad (10.11)$$

и работа цикла, равная

$$l = i_2 - i_1, \quad (10.12)$$

будут больше в цикле $1-2-3-4$, чем в цикле $1-2'-2''-3-4$, на площадь $2-2'-2''$.

Естественно, что холодильный коэффициент

$$\varepsilon = (i_1 - i_4)/(i_2 - i_1) \quad (10.13)$$

и коэффициент обратимости $\eta_{обр} = \varepsilon/\varepsilon_{обр}$ цикла $1-2-3-4$ меньше, чем цикла $1-2'-2''-3-4$.

Следовательно, необратимые потери цикла $1-2-3-4$ больше, чем цикла $1-2'-2''-3-4$, так как хладагент передает теплоту окружающей среде в процессе $2-2''$ при конечной разности температур.

При всасывании в компрессор перегретого пара (цикл $1п-2п-3-4$ на рис. 10.3) удельная массовая холодопроизводительность хладагента увеличивается, но в меньшей степени, чем возрастает работа цикла. Поэтому необратимые потери цикла увеличиваются.

Однако необратимые потери цикла можно сократить. Например, необратимые потери, связанные с дросселированием хладагента, могут быть уменьшены в результате охлаждения хладагента перед дросселированием до температуры, ниже окружающей среды.

Холодильная машина с регенеративным теплообменником. Такая холодильная машина совершает цикл $1-1'-2'-3-3'-4'$ (рис. 10.4),

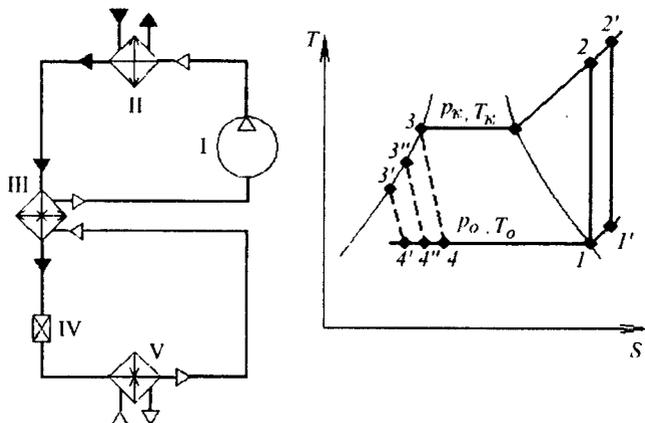


Рис. 10.4. Функциональная схема и цикл холодильной машины с регенеративным теплообменником:

I — компрессор; II — конденсатор; III — регенеративный теплообменник; IV — регулирующий вентиль; V — испаритель

в котором жидкий хладагент перед дросселированием охлаждается паром, выходящим из испарителя V, в регенеративном теплообменнике III. Этот цикл называется регенеративным.

В результате теплообмена температура жидкого хладагента перед дросселированием становится ниже температуры окружающей среды (точка $3'$ вместо 3), что снижает необратимые потери дросселирования, а температуры всасываемого в компрессор (точка $1'$ вместо 1) и нагнетаемого в конденсатор (точка $2'$ вместо 2) пара выше температуры окружающей среды, что увеличивает необратимые потери так называемого перегрева.

Поэтому качественный анализ не дает однозначного ответа в отношении целесообразности применения регенеративного цикла. Здесь следует учитывать свойства хладагента и температуры охлаждаемого объекта и окружающей среды, а также условия эксплуатации.

Однако при наличии естественного источника с температурой ниже температуры окружающей среды, например артезианской воды, термодинамически выгодно охлаждать хладагент перед дросселированием. Так, при сравнении циклов $1-2-3-4$ и $1-2-3''-4''$ видно, что в последнем удельная массовая холодопроизводительность хладагента больше на значение, равное $i_4 - i_4''$. Работа цикла при этом не изменилась, поэтому ϵ и $\epsilon_{\text{обр}}$ цикла $1-2-3''-4''$ будут больше, чем цикла $1-2-3-4$.

Необратимые потери перегрева, связанные с передачей теплоты хладагентом окружающей среде при конечной разности температур,

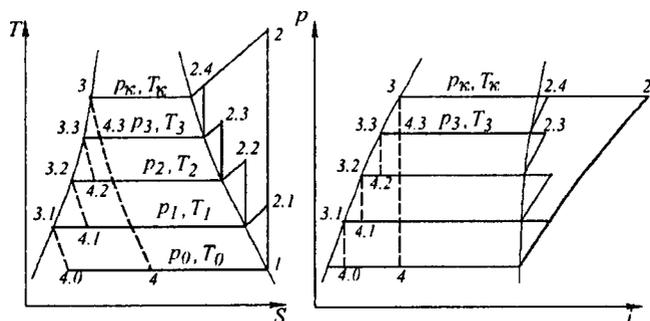


Рис. 10.5. Многоступенчатый цикл

можно сократить, уменьшив температуру хладагента в конце процесса сжатия, например, охлаждая полости сжатия компрессора или применяя многоступенчатое сжатие хладагента.

10.1.2 Многоступенчатые паровые холодильные машины

Получение более низких температур кипения t_0 приводит к увеличению отношений давлений p_k/p_0 и температур t_k/t_0 в цикле, а также разности давлений $p_k - p_0$ при прочих равных условиях. С увеличением значения p_k/p_0 значительно возрастают необратимые потери, связанные с перегревом пара в процессе сжатия и дросселированием жидкости. Следовательно, уменьшается холодильный коэффициент, зависящий от t_k и t_0 .

Кроме того, высокая температура конца процесса сжатия хладагента способствует разложению смазочного масла и некоторых хладагентов, нарушению жидкостного режима смазки, а значит и износу деталей. Разность давлений $p_k - p_0$ определяет требования к прочности к элементам холодильной машины и влияет на их металлоемкость.

Учитывая то, что холодильный коэффициент тем выше, чем меньше разность $t_k - t_0$ (а значит и p_k/p_0), представляется целесообразным цикл с большим значением p_k/p_0 заменить несколькими последовательными циклами с меньшим отношением давлений.

На рис. 10.5 представлен цикл 1-2-3-4, состоящий из четырех последовательных циклов.

В результате, как видно из рис. 10.5, уменьшилась работа цикла и увеличилась удельная холодопроизводительность хладагента на $\Delta q_0 = i_4 - i_{4.0}$. С увеличением числа циклов (ступеней сжатия и дросселирования) будут уменьшаться необратимые потери. Однако для реализации таких циклов требуются несколько компрессоров и дополнительные технические средства. Поэтому на практике число ступеней сжатия

и дросселирования (последовательных циклов) выбирают, руководствуясь термодинамическими или экономическими критериями, например, по максимальному холодильному коэффициенту или минимальным затратам на работу холодильной машины.

Для большинства промышленных производств относительно низких температур не требуется, поэтому температура кипения обычно $t_0 > -50^\circ\text{C}$. Для получения таких температур применяют в основном двухступенчатое сжатие хладагента, а границей перехода на двухступенчатое сжатие является диапазон температур $t_0 = -20 \dots -25^\circ\text{C}$.

Компрессоры, осуществляющие двухступенчатое сжатие, называются: *ступенью низкого давления* (СНД), который сжимает пар хладагента от p_0 до $p_{\text{пр}}$, и *ступенью высокого давления* (СВД), который сжимает пар от $p_{\text{пр}}$ до p_k .

Промежуточное давление $p_{\text{пр}}$ (или промежуточная температура $t_{\text{пр}}$) при двухступенчатом сжатии определяют различными методами, которые дают результаты, отличающиеся незначительно. Поэтому обычно находят температуру $T_{\text{пр}}$ (К) как среднее арифметическое

$$T_{\text{пр}} = (T_k + T_0)/2, \quad (10.14)$$

а давление $p_{\text{пр}}$, как среднее геометрическое

$$p_{\text{пр}} = \sqrt{p_k p_0}. \quad (10.15)$$

Существует много видов двухступенчатых холодильных машин, отличающихся схемой, типом отдельных элементов, например с промежуточным теплообменником или промежуточным сосудом, а также процессов, например с полным промежуточным охлаждением пара или неполным промежуточным охлаждением.

Двухступенчатая холодильная машина с промежуточным теплообменником. Эта холодильная машина работает с неполным промежуточным охлаждением, т. е. пар хладагента, нагнетаемый компрессором СНД, охлаждается до температуры, которая выше промежуточной $t_{\text{пр}}$. Функциональная схема и цикл такой холодильной машины показан на рис. 10.6.

Сухой насыщенный пар хладагента (точка 1) поступает в компрессор СНД I, где изоэнтропно сжимается (процесс 1–2). Перегретый пар (точка 2) смешивается с сухим насыщенным (точка 3), поступающим из промежуточного теплообменника V, и температура его снижается (точка 4). В этом состоянии пар поступает в компрессор СВД II, где изоэнтропно сжимается (процесс 4–5) и в перегретом состоянии (точка 5) входит в конденсатор III, где конденсируется (процесс 5–6), отдавая теплоту

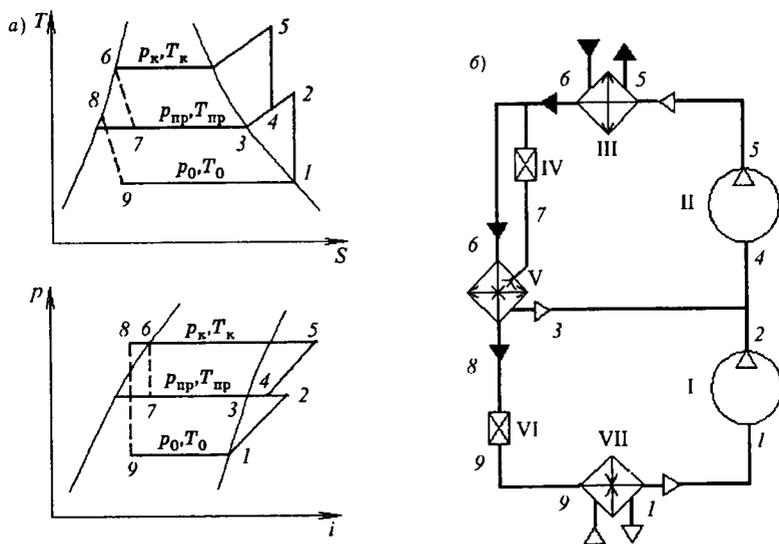


Рис. 10.6. Цикл (а) и функциональная схема (б) двухступенчатой холодильной машины с промежуточным теплообменником:

I — компрессор СНД; II — компрессор СВД; III — конденсатор; IV, VI — регулирующие вентили; V — промежуточный теплообменник; VII — испаритель

воде. Затем поток жидкого хладагента перед входом в промежуточный теплообменник V разделяется. Меньшая часть потока дросселируется в регулирующем вентиле IV (процесс 6–7) и поступает в промежуточный теплообменник V, в котором жидкий хладагент кипит при промежуточной температуре $t_{пр}$ (процесс 7–3), переохлаждая большую часть потока жидкого хладагента (точка 8). Переохлажденный хладагент дросселируется в регулирующем вентиле VI (процесс 8–9) и поступает в испаритель VII, где кипит при температуре t_o (процесс 9–1), охлаждая, например воздух. Образовавшийся сухой насыщенный пар (точка 1) всасывается в компрессор СНД.

Промежуточные температуру или давление определяют соответственно по уравнениям (10.14) или (10.15).

Следует отметить, что пар, образовавшийся в промежуточном теплообменнике V, отбирается при промежуточном давлении и сжимается до давления конденсации. Следовательно, через компрессоры СНД и СВД циркулирует неодинаковая масса хладагента. Поскольку на термодинамической диаграмме отображаются процессы, связанные с изменением состояния 1 кг хладагента, то изображение некоторых процессов при двухступенчатом сжатии носит условный характер. Обычно

массовые потоки в двухступенчатом (многоступенчатом) цикле относят к 1 кг хладагента, циркулирующего через компрессор СВД. Этот массовый поток m_n при требуемой холодопроизводительности Q_o равен

$$m_n = Q_o/q_o = Q_o/(i_1 - i_9). \quad (10.16)$$

Массовую подачу компрессора СВД можно определить из теплового баланса промежуточного теплообменника V $m_b i_6 = m_n i_8 + (m_b - m_n) i_3$. Откуда находим

$$m_b = m_n(i_3 - i_8)/(i_3 - i_6). \quad (10.17)$$

Изоэнтروпные мощности ступеней сжатия

$$N_{a,n} = m_n(i_2 - i_1); \quad (10.18)$$

$$N_{a,b} = m_b(i_5 - i_4). \quad (10.19)$$

Состояние перегретого пара в точке 4 можно найти из теплового баланса смешивающихся потоков пара $m_b i_4 = m_n i_2 + (m_b - m_n) i_3$, откуда

$$i_4 = i_3 + m_n(i_2 - i_3)/m_b. \quad (10.20)$$

Холодильный коэффициент цикла

$$\varepsilon = Q_o/(N_{a,n} + N_{a,b}). \quad (10.21)$$

Двухступенчатая холодильная машина со змеевиковым промежуточным сосудом и полным промежуточным охлаждением. Эта схема отличается от предыдущей тем, что вместо промежуточного теплообменника в ее состав входит змеевиковый промежуточный сосуд V (рис. 10.7), с помощью которого достигается полное промежуточное охлаждение.

Пар (точка 2), нагнетаемый компрессором СВД I в промежуточный сосуд V под уровень жидкого хладагента, охлаждается при непосредственном контакте с жидким хладагентом с температурой $t_{пр}$ до состояния сухого насыщенного пара с давлением $p_{пр}$ (точка 3). Компрессор СВД II всасывает пар из промежуточного сосуда и нагнетает в конденсатор III. Жидкий хладагент (точка 5), поступающий из конденсатора, разделяется на две неравные части. Большая часть потока проходит через змеевик, охлаждаясь (процесс 5–8) перед дросселированием насыщенным жидким хладагентом с температурой $t_{пр}$, часть которого выкипает вследствие теплоподвода. Меньшая часть потока дросселируется в регулирующем вентиле IV (процесс 5–6) и влажный пар поступает в промежуточный сосуд, где разделяется на сухой насыщенный (точка 3)

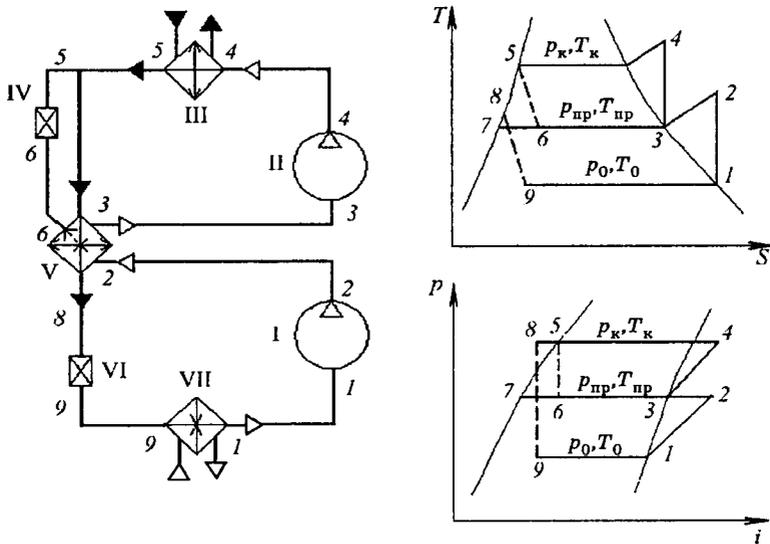


Рис. 10.7. Функциональная схема и цикл двухступенчатой холодильной машины со змеевиковым промежуточным сосудом:

I — компрессор СНД; II — компрессор СВД; III — конденсатор; IV, VI — регулирующие вентили; V — промежуточный сосуд; VII — испаритель

и насыщенную жидкость (точка 7), которая компенсирует потерю жидкости, выкипающей в процессе охлаждения жидкого хладагента, проходящего через змеевик.

Промежуточные температуру или давление определяют соответственно по уравнениям (10.14) или (10.15). Температуру хладагента в точке 8 находят из условия $t_8 = t_{пр} + (2 - 5)$.

Массовая подача компрессора СНД равна

$$m_{н} = Q_o / (i_1 - i_9). \quad (10.22)$$

Массовая подача компрессора СВД определяется, например, из теплового баланса промежуточного сосуда $m_{в}i_5 + m_{н}i_2 = m_{н}i_8 + m_{в}i_3$. Откуда

$$m_{в} = m_{н}(i_2 - i_8) / (i_3 - i_5). \quad (10.23)$$

Изоэнтронные мощности ступеней сжатия равны

$$N_{а,н} = m_{н}(i_2 - i_1); \quad (10.24)$$

$$N_{а,в} = m_{в}(i_4 - i_3). \quad (10.25)$$

Холодильный коэффициент цикла

$$\varepsilon = Q_o / (N_{а,н} + N_{а,в}). \quad (10.26)$$

Таким образом, использование промежуточного сосуда позволяет осуществить промежуточное охлаждение пара с меньшими необратимыми потерями от теплообмена при конечной разности температур.

Двухступенчатый цикл с полным промежуточным охлаждением применяются при использовании хладагента с небольшой молекулярной массой, которому свойственны большие необратимые потери, связанные с перегревом пара.

10.2 Газовые холодильные машины

Холодильные машины, термодинамический цикл которых совершается в области газа (значительно перегретого пара), то есть хладагент находящийся в газообразном состоянии и не изменяет свое агрегатное состояние при совершении цикла, называются газовыми холодильными машинами.

Газовые холодильные машины в зависимости от физического принципа получения низкой температуры могут быть двух типов: с адиабатическим расширением газа с отдачей полезной внешней работы и с использованием вихревого эффекта (эффекта Ранка).

Холодильным агентом в газовых машинах с адиабатическим расширением газа часто является воздух, и тогда их называют *воздушными холодильными машинами*. Их применяют в области относительно низких температур ($-80 \dots -120$ °С), где эффективность их работы близка к паровым холодильным машинам. Если работа, получаемая в детандере таких машин, составляет значительную часть работы, затрачиваемой в компрессоре, то работа детандера подводится к компрессору для сжатия газа. Это повышает энергетическую эффективность цикла.

Эффективность газовых холодильных машин, использующих вихревой эффект, значительно ниже, чем машин с детандерами.

Функциональная схема и теоретический цикл газовой холодильной машины показан на рис. 10.8.

Газ с температурой T_1 , равной температуре охлаждаемого объекта, и давлением p_1 поступает в компрессор I, изоэнтропно сжимается до давления p_2 (процесс 1–2) и нагнетается в теплообменник II. В нем воздух охлаждается от температуры T_2 до T_3 (процесс 2–3), отдавая поглощенную теплоту окружающей среде, например воде. Затем воздух изоэнтропно расширяется в детандере III от давления p_2 до p_1 (процесс 3–4), совершая полезную работу, и поступает в теплообменник IV охлаждаемого объекта, где нагревается от температуры T_4 до T_1 (процесс 4–1), отводя теплоту от охлаждаемого объекта, например возду-

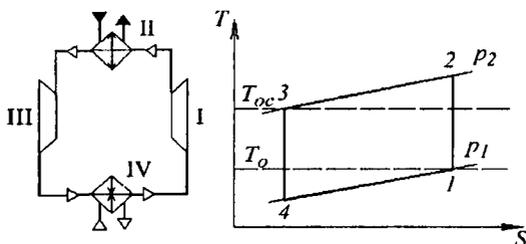


Рис. 10.8. Функциональная схема и теоретический цикл газовой холодильной машины:

I — компрессор; II — теплообменник; III — детандер; IV — теплообменник охлаждаемого объекта

ха. Из охлаждаемого объекта газ поступает в компрессор, и далее цикл повторяется.

Удельная массовая холодопроизводительность хладагента в s - T -диаграмме измеряется площадью под процессом и равна

$$q_0 = i_1 - i_4 = c_p(T_1 - T_4). \quad (10.27)$$

Количество теплоты, отведенное от 1 кг газа, измеряется площадью под процессом и равно

$$q = i_2 - i_3 = c_p(T_2 - T_3). \quad (10.28)$$

Работа цикла равна разности работ компрессора и детандера

$$l = l_k - l_p = (i_2 - i_1) - (i_3 - i_4) \quad (10.29)$$

или находится из теплового баланса

$$l = q - q_0 = (i_2 - i_3) - (i_1 - i_4) = c_p(T_2 - T_3) - c_p(T_1 - T_4). \quad (10.30)$$

Холодильный коэффициент цикла

$$\varepsilon = q_0/l = c_p(T_1 - T_4)/[(c_p(T_2 - T_3) - c_p(T_1 - T_4))]. \quad (10.31)$$

Если допустить, что воздух является идеальным газом, т. е. $c_p = \text{const}$, то можно написать

$$\varepsilon = (T_1 - T_4)/[(T_2 - T_3) - (T_1 - T_4)]$$

или

$$\varepsilon = (T_1 - T_4)/[T_1(T_2/T_1 - 1) - T_4(T_3/T_4 - 1)]. \quad (10.32)$$

Для изоэнтروпных процессов сжатия и расширения воздуха отношение абсолютных температур можно представить в виде

$$T_2/T_1 = T_3/T_4 = (p_2/p_1)^{(k-1)/k},$$

где k — показатель адиабаты.

Тогда находим

$$\varepsilon = T_1(T_2 - T_1) = T_4(T_3 - T_4). \quad (10.33)$$

Коэффициент обратимости цикла равен

$$\eta = \varepsilon/\varepsilon_{\text{обр}}. \quad (10.34)$$

Этот цикл с термодинамической точки зрения целесообразен, если имеются источники переменной температуры, например осуществляется комбинированный цикл, охлаждая и нагревая объекты одновременно.

10.3 Теплоиспользующие холодильные машины

Теплоиспользующие холодильные машины в отличие от паровых и газовых, функционируют, используя энергию в форме теплоты, а не механической работы. В этой связи область применения таких холодильных машин ограничивается наличием дешевых источников теплоты, так называемых вторичных энергетических ресурсов.

Теплоиспользующие холодильные машины подразделяются на абсорбционные, сорбционные и парожеторные холодильные машины. Из этих видов машин наиболее распространены абсорбционные.

Абсорбционные холодильные машины. Название этих машин связано с тем, что абсорбция, т. е. поглощение пара жидкостью (абсорбентом), — важный процесс в циклах таких машин. Абсорбционные процессы осуществляются посредством растворов, состоящих, как правило, из двух компонентов, имеющих различные нормальные температуры кипения. Низкокипящее вещество является хладагентом, а высококипящее вещество — абсорбентом. Наиболее распространенным двухкомпонентными растворами являются аммиак—вода и вода—бромистый литий. Причем аммиак в первом и вода во втором являются холодильными агентами.

Теплота в абсорбционных холодильных машинах переносится от охлаждаемого объекта с температурой T_0 к окружающей среде с температурой $T_{0,c}$ в результате осуществления совмещенных прямого и обратного циклов за счет теплоты греющего источника с температурой T_B .

Функциональная схема простейшей абсорбционной холодильной машины приведена на рис. 10.9.

В конденсаторе 1 пар хладагента конденсируется вследствие отвода теплоты Q_k к окружающей среде при температуре $T_{o.c.}$ Конденсат расширяется в детандере 2 от давления p_k до p_o и поступает в испаритель 3, где кипит при температуре T_o вследствие подвода теплоты Q_o от охлаждаемого объекта. Образовавшийся пар хладагента поглощается крепким (по массовой доле абсорбента) раствором в абсорбере 4. Процесс абсорбции сопровождается выделением теплоты $Q_{аб.}$, которая отводится к окружающей среде (воде) при температуре $T_{o.c.}$ В результате раствор становится слабым, как в генераторе 7, в который он подается насосом 6. В генераторе хладагент выкипает из раствора, вследствие подвода теплоты. Раствор становится крепким и, расширяясь в детандере 5 от давления p_k до p_o , поступает в абсорбер 4. Из генератора 7 пар хладагента поступает в конденсатор 1. Далее процессы повторяются.

Таким образом, в абсорбционной холодильной машине, как и в паровой компрессорной, низкая температура получается в результате кипения хладагента, поступившего в испаритель через детандер из конденсатора. Однако здесь хладагент подается из испарителя в конденсатор посредством абсорбции и выпаривания, а для осуществления последнего и требуется подвод теплоты от внешнего источника при температуре выше температуры окружающей среды.

Для получения показателей цикла идеализируем работу рассмотренной абсорбционной холодильной машины, полагая следующее. Прямой и обратный циклы осуществляются между источниками с постоянными температурами. В прямом цикле тепловой двигатель, потребляя тепловой поток Q_g греющего источника с температурой T_b , отдает окружающей среде тепловой поток $Q_{аб.}$ при температуре $T_{o.c.}$ и производит механическую работу L . Эта работа используется холодильной машиной для отвода теплового потока Q_o при температуре T_o и передачи окружающей среде тепловой поток Q_k . Кроме того, допускается следующее: в генераторе раствор полностью разделяется на хладагент и абсорбент; в генераторе, конденсаторе, испарителе и абсорбере процессы осуществляются при постоянной температуре без необратимых потерь; работа, подведенная к насосу, подающему раствор в генератор, равна работе, отведенной от детандеров, так как объемные подачи веществ и разности давлений равны.

Тепловой баланс такой машины

$$Q_o + Q_g = Q_k + Q_{аб.}$$

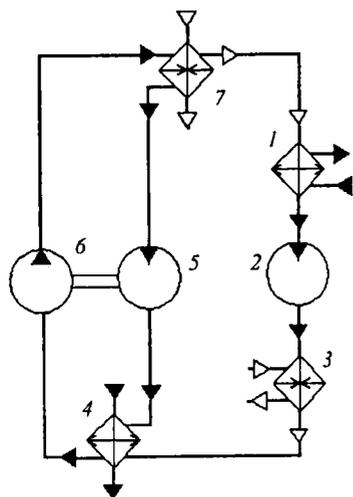


Рис. 10.9. Функциональная схема упрощенной абсорбционной холодильной машины:

1 — конденсатор; 2 — детандер; 3 — испаритель; 4 — абсорбер; 5 — детандер крепкого раствора; 6 — насос; 7 — генератор

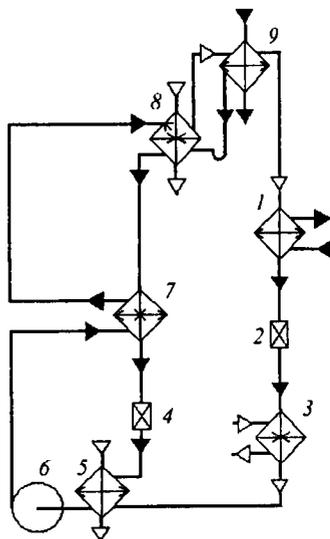


Рис. 10.10. Функциональная схема абсорбционной холодильной машины:

1 — конденсатор; 2, 4 — регулирующие вентили; 3 — испаритель; 5 — абсорбер; 6 — насос; 7 — регенеративный теплообменник; 8 — генератор с ректификационной колонной; 9 — дефлегматор

Эффективность работы абсорбционной холодильной машины выражается тепловым коэффициентом

$$\zeta_{\Gamma} = Q_0 / Q_{\Gamma}. \quad (10.35)$$

Абсорбционная холодильная машина совершает совмещенные прямой и обратный циклы. Эффективность прямого обратимого цикла оценивается термическим коэффициентом

$$\eta_{\Gamma} = L / Q_{\Gamma}, \quad (10.36)$$

а обратного — холодильным коэффициентом

$$\varepsilon = Q_0 / L. \quad (10.37)$$

Тогда, с учетом уравнений (10.36) и (10.37) зависимость (10.35) можно представить так

$$\zeta_{\Gamma} = \eta_{\Gamma} \varepsilon.$$

Для обратимого цикла Карно тепловой коэффициент можно представить в виде

$$\zeta_{т.обр} = (T_{г} - T_{о.с})/T_{г} \cdot T_{о}/(T_{о.с} - T). \quad (10.38)$$

Из уравнения (10.38) можно сделать вывод, что при одинаковых температурах источников $T_{о}$ и $T_{о.с}$ термодинамическая эффективность работы абсорбционной машины ниже, чем компрессорной, так как значение $(T_{г} - T_{о.с})/T_{г}$ меньше единицы.

Схема реальной абсорбционной холодильной машины в отличие от простейшей включает регулирующие вентили 2, 4 вместо детандеров, регенеративный теплообменник 7, ректификационную колонну, например встроенную в генератор 8, а иногда и дефлегматор 9 (рис. 10.10).

Замена детандеров регулируемыми вентилями вызвана теми же причинами, что и в паровой холодильной машине: полезная работа детандера незначительна, а в эксплуатации регулирующие вентили проще.

Введение в состав абсорбционной холодильной машины регенеративного теплообменника для нагревания крепкого и охлаждения слабого растворов позволяет уменьшить необратимые потери в прямом совмещенном цикле. Так, крепкий раствор поступит в генератор с более высокой температурой, а следовательно, затрата работы в нем уменьшится. Слабый же раствор поступит в абсорбер с более низкой температурой, поэтому тепловой поток, который необходимо отвести из абсорбера, уменьшится.

Ректификатор и дефлегматор увеличивают концентрацию пара хладагента, выходящего из генератора, что повышает эффективность обратного цикла. В ректификационной колонне пар хладагента и крепкий раствор контактируют, проходя через насадку. Далее пар поступает в дефлегматор, где концентрация хладагента увеличивается в результате охлаждения пара водой. Образовавшийся конденсат (флегма) стекает в генератор.

Работа реальной абсорбционной холодильной машины сопровождается потерями вследствие необратимости процессов теплообмена и абсорбции, трения при движении потоков веществ, дросселирования хладагента и адсорбента, механической работы, подведенной к насосу, и др. Поэтому мерой термодинамического совершенства абсорбционной холодильной машины является соотношение тепловых коэффициентов действительной и идеальной машин

$$\eta_{г} = \zeta_{г}/\zeta_{т.обр}. \quad (10.39)$$

Рабочие процессы, протекающие в абсорбционных водоаммиачной и бромистолитиевой холодильных машинах, аналогичны. Но есть ряд кон-

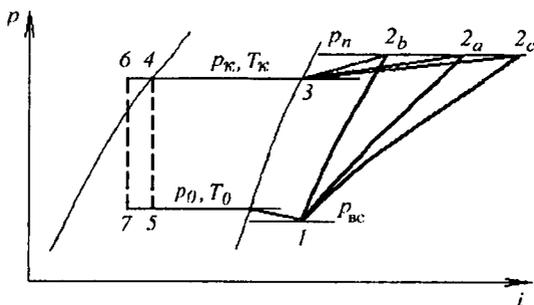


Рис. 10.11. Реальный цикл одноступенчатой паровой холодильной машины

структивных особенностей, связанных с различием свойств хладагентов и абсорбентов. Например, в бромистолитиевой машине нет ректификатора, так как нормальные температуры кипения хладагента и абсорбента существенно отличаются, а процессы в аппаратах совершаются при давлении ниже атмосферного.

Различны и температурные области их применения. Водоаммиачные машины используют для получения относительно низких температур (до -70°C), а бромистолитиевые — для более высоких.

Для работы абсорбционных холодильных машин используют дешевые, но достаточно высокопотенциальные источники теплоты: отходящий газ котельных, отработавший пар ТЭЦ, горячая вода и пр., которые являются тепловыми отходами, например, на мясокомбинате, молочном заводе, при производстве сахара, спирта, пива, хлеба и др.

10.4 Реальные циклы паровых холодильных машин

Реальные процессы, происходящие в элементах холодильной машины, отличаются от теоретических наличием необратимых потерь. Реальный цикл паровой холодильной машины показан на рис. 10.11.

Так, теплообмен между охлаждаемым объектом и кипящим хладагентом происходит при конечной разности температур (4–10 К), а часто и при переменной температуре охлаждаемого объекта.

В компрессор должен всасываться перегретый пар (точка 1) не менее чем на 5 К. Такой перегрев снижает вероятность поступления со всасываемым паром большого объема жидкого хладагента в полость сжатия компрессора, а следовательно, исключается так называемый гидравлический удар в компрессоре, который может привести к его повреждению.

Давление всасываемого в компрессор пара $p_{\text{вс}}$ (точка 1) ниже, чем давление кипения p_0 вследствие гидравлического сопротивления всасы-

вающего трубопровода. Процесс сжатия может идти не по изоэнтропе (процесс $1-2a$), а по линии $1-2c$, если идет с подводом теплоты, или по линии $1-2b$, если идет с отводом теплоты.

Процесс сжатия осуществляется от давления всасывания $p_{вс}$ до давления нагнетания $p_{н}$, которое выше давления конденсации $p_{к}$ вследствие гидравлического сопротивления нагнетательного трубопровода.

В конденсаторе хладагент сначала охлаждается до состояния сухого насыщенного пара (точка 3), а затем конденсируется (процесс $3-4$). Из конденсатора жидкий хладагент может выходить в насыщенном (точка 4) или переохлажденном (на $1-3$ К) состоянии (точка $б$).

Теплообмен между конденсирующимся хладагентом и окружающей средой происходит при конечной разности температур ($4-6$ К). Температура окружающей среды изменяется в процессе теплообмена: вода нагревается на $2-5$ К, а воздух — на $6-8$ К.

Характеристики реальных (компрессоров, конденсаторов, испарителей и других) элементов холодильной машины отличаются от идеальных из-за наличия гидродинамического сопротивления движущимся средам, термического сопротивления теплопередаче, трения в механизмах, неодинаковой разности температур по площади теплопередающей поверхности, смешения и дросселирования веществ, теплопритоков, потери массы веществ вследствие перетечек (утечек) и др.

Например, характеристики компрессоров ухудшаются из-за перетечек хладагента при его сжатии, трения в механизмах, присутствия «балластных веществ» и др. В цилиндрах поршневого компрессора имеются пространства, называемыми «мертвыми», которые образуются из-за зазоров между торцом поршня в верхней мертвой точке и клапанной доской, а также полостями в клапанах со стороны цилиндра. В этом пространстве находится пар, который расширяется до давления всасывания при движении поршня вниз, а в результате объем пара, поступающего из всасывающего трубопровода, оказывается меньше вместимости цилиндра.

Кроме того, аэродинамическое сопротивление в клапанах и пульсация давлений во всасывающей и нагнетательной полостях влияют на объемную подачу.

В винтовом компрессоре объемная подача уменьшается из-за перетечек через зазоры между полостями с разным давлением; из-за гидродинамического сопротивления в окнах и камере всасывания; из-за масла, которое поступает в полости сжатия и занимает часть их вместимости; из-за выделения пара хладагента, растворенного в масле и др.

Следовательно, объемная подача реального компрессора меньше, чем идеального.

Производительность и объемные показатели компрессоров.

Для подбора и анализа работы компрессора нужно знать взаимосвязь между основными его техническими показателями и термодинамическими параметрами.

Холодильный компрессор, как известно, предназначается для подачи пара (или газа) хладагента при больших давлениях. Поэтому его основными техническими показателями являются производительность и затрачиваемая мощность.

Производительность может измеряться в различных единицах: объемных — объемная подача ($\text{м}^3/\text{с}$); массы — массовая подача ($\text{кг}/\text{с}$) и тепловых — холодопроизводительность (кВт). Объемная подача $V_{\text{км}}$ это объем хладагента, нагнетаемого компрессором в единицу времени, отнесенный к условиям всасывания, т. е. при давлении и температуре во всасывающем патрубке компрессора.

Компрессоры объемного принципа действия имеют объемные потери, для оценки которых существует понятие *коэффициента подачи* λ , зависящего от многих факторов, который показывает во сколько раз *действительная производительность* $V_{\text{км}}$ меньше *теоретической* $V_{\text{т}}$

$$\lambda = V_{\text{км}}/V_{\text{т}}. \quad (10.40)$$

Теоретическая объемная подача равна объему, описываемому рабочими органами компрессора (поршнями, полостями винтов, роторами и др.) в единицу времени. Поэтому ее иногда называют объемом, описываемым, например, поршнями.

Компрессоры динамического принципа действия характеризуют только действительным значением производительности.

Массовая подача $m_{\text{км}}$ — это масса хладагента, нагнетаемого компрессором в единицу времени, равна

$$m_{\text{км}} = V_{\text{км}}/v_{\text{вс}}, \quad (10.41)$$

где $v_{\text{вс}}$ — удельный объем хладагента во всасывающем патрубке компрессора.

Массовая подача теоретического компрессора, т. е. компрессора, все процессы происходящие в котором, являются обратимыми, равна

$$m_{\text{т}} = V_{\text{т}}/v_{\text{вс}}. \quad (10.42)$$

Холодопроизводительность Q — это тепловой поток, который может отвести подаваемый компрессором хладагент $m_{\text{км}}$ в охлаждающем устройстве (испарителе), определяемый по формуле,

$$Q_{\text{км}} = m_{\text{км}}q_0. \quad (10.43)$$

Мощность и КПД компрессоров. Мощность теоретического компрессора N_T определяют по формуле

$$N_T = m_{\text{км}} l_T, \quad (10.44)$$

где l_T — удельная работа теоретического процесса сжатия.

Если в уравнение (10.44) вместо $m_{\text{км}}$ подставить ее значение из (10.42), то получим

$$N_T = V_T l_T / v_{\text{вс}} = V_T p_{iT}, \quad (10.45)$$

где p_{iT} — среднее индикаторное давление теоретического компрессора, равное $p_{iT} = l_{\text{эф}} / v_{\text{вс}}$; $l_{\text{эф}}$ — удельная эффективная работа сжатия хладагента от начального состояния до конечного состояния $l_{\text{эф}} = \int v dp$.

Мощность, необходимая для функционирования действительного компрессора, расходуется на сжатие хладагента, его перемещение, трение в сопряженных деталях и т. д. Другими словами, в процессе работы реального компрессора имеют место потери, которые принято делить на внутренние и внешние.

Внутренние потери — это те, которые изменяют состояние хладагента, например, связанные с перетечками, теплообменом. Внешние потери не изменяют состояние хладагента, например, связанные с трением в сопряжениях.

Мощность, затрачиваемая на преодоление внутренних потерь, называется *индикаторной* (внутренней) N_i и определяется по формуле

$$N_i = p_i V_T, \quad (10.46)$$

где p_i — индикаторное давление реального компрессора.

Внутренние потери учитывают *индикаторным* (внутренним) КПД η_i

$$\eta_i = N_{\text{из}} / N_i, \quad (10.47)$$

где $N_{\text{из}}$ — изоэнтропная мощность, равная $N_{\text{из}} = m_{\text{км}}(i_{2a} - i_1)$.

Мощность, подводимая к валу компрессора, называется *эффективной* N_e

$$N_e = N_i + N_{\text{тр}}. \quad (10.48)$$

Мощность трения $N_{\text{тр}}$ можно найти, если известен механический КПД η_m , определяемый опытным путем,

$$\eta_m = N_i / N_e = N_i / (N_i + N_{\text{тр}}). \quad (10.49)$$

Энергетическое совершенство компрессора характеризуют *эффективным* КПД η_e

$$\eta_e = N_a/N_e \quad (10.50)$$

или

$$\eta_e = \eta_i \eta_m. \quad (10.51)$$

Характеристики компрессора. Характеристиками компрессора называют зависимости его показателей от режима работы, например, холодопроизводительности $Q_{\text{км}} = f_1(t_o, t_k)$; эффективной мощности $N_e = f_2(t_o, t_k)$; электрической мощности $N_э = f_3(t_o, t_k)$; холодильного коэффициента $\epsilon_e = f_4(t_o, t_k)$; коэффициента подачи $\lambda = f_5(t_o, t_k)$; индикаторного КПД $\eta_i = f_6(t_o, t_k)$; эффективного КПД $\eta_e = f_7(t_o, t_k)$.

Основные показатели компрессора определяют и расчетным путем, например:

— холодопроизводительность

$$Q_{\text{км}} = m_{\text{км}} q_o = \lambda V_T q_o / v_{\text{вс}}; \quad (10.52)$$

— эффективная мощность

$$N_e = m_{\text{км}}(i_{2a} - i_1) / \eta_e = \lambda V_T (i_{2a} - i_1) / (v_{\text{вс}} \eta_e); \quad (10.53)$$

— холодильный коэффициент

$$\epsilon_e = Q_o / N_e. \quad (10.54)$$

Показатели бессальниковых и герметичных компрессоров, которые расположены в одном кожухе с электродвигателем, охлаждаемым паром, поступающим затем во всасывающую полость компрессора, обычно определяют по формулам:

— электрическую (потребляемую) мощность

$$N_э = m_{\text{км}}(i_{2a} - i_1) / \eta_э = \lambda V_T (i_{2a} - i_1) / (v_{\text{вс}} \eta_э); \quad (10.55)$$

— холодильный коэффициент

$$\epsilon_e = Q_o / N_э, \quad (10.56)$$

где i_1 — энтальпия пара, поступающего во всасывающую полость компрессора и имеющего температуру на 30–40 К выше, чем температура пара, поступающего в кожух агрегата; $\eta_э$ — КПД электродвигателя.

КОМПРЕССОРЫ ХОЛОДИЛЬНЫХ МАШИН

Компрессором холодильной машины принято называть механизм, использующий механический привод для увеличения давления пара хладагента. Компрессоры, используемые в холодильной технике, можно разделить по принципу действия на два типа: объемного действия (поршневые, винтовые, спиральные, ротационные) и динамического действия (центробежные, осевые). На пищевых предприятиях наиболее широкое применение нашли поршневые и винтовые компрессоры. Поршневые компрессоры занимают область холодопроизводительности до 200 кВт; винтовые компрессоры — от 30 кВт до 1600 кВт. Область холодопроизводительности 5–50 кВт заполняется спиральными компрессорами.

В поршневом компрессоре процесс сжатия происходит путем периодического уменьшения объема, в который поступает хладагент. Изменение объема осуществляется вследствие возвратно-поступательного движения поршня в цилиндре компрессора. Работа идеального компрессора состоит из следующих процессов: процесс всасывания 1–2, процесс нагнетания 3–4, адиабатный процесс сжатия 2–3 (рис. 11.1). Процессы всасывания и нагнетания протекают при постоянных параметрах хладагента, но переменном его количестве, поэтому давление и температура в этих процессах постоянно. В идеальном компрессоре не возникает трение при движении поршня, отсутствуют зазоры между поршнем и цилиндром и перетечки хладагента между полостями нагнетания и всасывания.

Продвигаясь из крайнего правого положения *КПП* влево, поршень производит сжатие хладагента (процесс 2–3). Когда давление p_4 в цилиндре достигает величины давления конденсации хладагента p_k , открывается нагнетательный клапан *КН* и начинается процесс нагнетания 3–4. В крайнем левом положении поршня *КПП* заканчивается процесс нагнетания (т. 4). После этого поршень изменяет направление движения и начинает двигаться вправо, давление p_1 в цилиндре при этом становится равным давлению кипения хладагента p_0 (зазоры между поршнем и цилиндром отсутствуют, поэтому давление мгновенно изменяется от давления нагнетания до давления всасывания). Открывается всасывающий клапан *КВ* и протекает процесс всасывания 1–2, который заканчивается в крайнем правом положении поршня *КПП*.

Работа реального компрессора отличается от идеального неизбежными объемными и энергетическими потерями, которые учитываются

соответствующими коэффициентами. Объемные потери в компрессоре характеризуются коэффициентом подачи, представляющим собой отношение действительной объемной подачи компрессора, приведенной к условиям всасывания V_d , к предельно возможной (теоретической) объемной подаче компрессора V_T

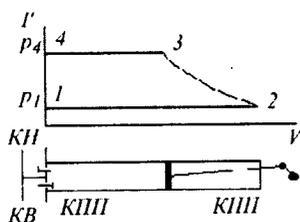


Рис. 11.1. Процессы работы идеального компрессора: *КН* — клапан нагнетательный; *КВ* — клапан всасывающий; *КПП* — крайнее левое положение поршня; *КПП* — крайнее правое положение поршня

вается ниже теоретического, а давление нагнетания выше. Повышение температуры хладагента в период всасывания и сжатия, перетечки хладагента через неплотности между полостями так же влияют на величину коэффициента подачи.

Коэффициент подачи обычно представляют в виде графиков для конкретных типов компрессоров и марок хладагентов в зависимости от отношения давления конденсации к давлению кипения $\lambda = f(p_k/p_0)$. С увеличением отношения давлений снижается величина коэффициента подачи (рис. 11.2). Приблизительная оценка коэффициента подачи может быть произведена по эмпирической формуле

$$\lambda = (1 - c(p_k/p_0 - 1))(t_0 + 273)/(t_0 + 273), \quad (11.2)$$

где c — относительная величина мертвого пространства, зависящая от типа и размеров компрессора, конструкции клапанов ($c = 0,015 - 0,06$).

В винтовом компрессоре (рис. 11.3) сжатие хладагента происходит так же, как и в поршневом, за счет периодического изменения объема, в который поступает пар рабочего вещества. Отличие состоит в принципе образования переменного объема. Полость сжатия ограничивается внутренней поверхностью корпуса *1*, в котором вращается винтовая пара *3* и *5*, впадиной между соседними зубьями винта, торцевой крышкой

$$\lambda = V_d/V_T. \quad (11.1)$$

На величину коэффициента подачи оказывает основное влияние наличие мертвого объема, в котором после нагнетания остается сжатый пар. Поэтому при обратном ходе поршня процесс всасывания пара может начаться только после расширения оставшегося пара до давления несколько ниже давления всасывания. Кроме того, при движении пара на стороне всасывания компрессора до входа в цилиндр и после выхода из цилиндра в процессе нагнетания возникают аэродинамические потери давления. В результате давление всасывания оказы-

корпуса (4 в конце всасывания и 2 перед нагнетанием) и зубом второго винта, входящим во впадину между зубьями первого винта. Пар, заполнивший полость, перемещается от стороны всасывания к стороне нагнетания. При этом изменяется геометрический объем полости. Величина его изменения определяется геометрией винтовой пары и не зависит от внешних условий, что является основным отличием от принципа работы поршневого компрессора.

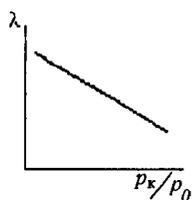


Рис. 11.2. Коэффициент подачи компрессора

Основными достоинствами винтовых компрессоров являются возможность плавного регулирования в диапазоне от 10% до 100% номинальной производительности; относительно малая масса и габариты; высокая надежность и долговечность, благодаря отсутствию всасывающих, нагнетательных клапанов и поршневых колец.

К недостаткам винтовых компрессоров следует отнести более высокое потребление электроэнергии (из-за постоянной степени сжатия хладагента), более высокий уровень шума, громоздкая система циркуляции масла.

Спиральный компрессор осуществляет сжатие также за счет изменения объема пара (рис. 11.4). Пар поступает во всасывающую полость, которая ограничена корпусом, неподвижной спиралью, подвижной спиралью и торцевыми поверхностями спиралей. При повороте вала компрессора, на котором закреплена подвижная спираль, объем пара постепенно уменьшается. Это происходит благодаря расположению неподвижной спирали с эксцентриситетом относительно подвижной. Отверстие для нагнетания пара размещено в центре спиралей.

Холодильные компрессоры выпускают в виде компрессорных агрегатов, состоящих из компрессора, электродвигателя, приборов управления, контрольно-измерительных и автоматизации. Промышленность

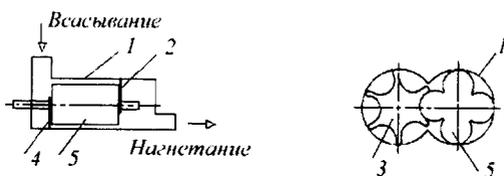


Рис. 11.3. Схема винтового компрессора:

1 — корпус; 2 — торцевая крышка с окном нагнетания; 3 — ведомый винт; 4 — торцевая крышка с окном всасывания; 5 — ведущий винт



Рис. 11.4. Процесс сжатия пара хладагента в спиральном компрессоре:
a — всасывание пара; *б, в* — сжатие пара; *г* — нагнетание;
 1 — полость всасывания; 2 — корпус компрессора; 3 — полость сжатия; 4 — подвижная спираль; 5 — неподвижная спираль; 6 — нагнетательное отверстие

выпускает компрессорные агрегаты сальникового (открытого) типа (рис. 11.5, 11.6, 11.7), бессальниковые (полугерметичные) (рис. 11.8, 11.9), герметичные (рис. 11.10).

Все детали компрессора монтируются в корпусе 7. Движение от электродвигателя передается через коленчатый вал 8, который в сочетании с шатуном преобразует вращательное движение электродвигателя в возвратно-поступательное движение поршня 2. Пар холодильного агента поступает в компрессор через всасывающий клапан 1 и при открывании всасывающих клапанов, расположенных на клапанной доске 3, всасывается в цилиндры. Нагнетание осуществляется через нагнетательные клапаны, также размещенные на клапанной доске 3, и нагнетательный клапан 5. Сальниковое уплотнение обеспечивает герметичность компрессора на стыке неподвижных деталей (корпус 7) и подвижных (коленчатый вал 8). Клапанная доска 3 закрывается крышкой 4. Смазка подвижных деталей компрессора осуществляется от встроенного масляного насоса 9.

В винтовом компрессоре детали также монтируются в корпусе 4. Движение от электродвигателя передается на ведущий винт 8, который

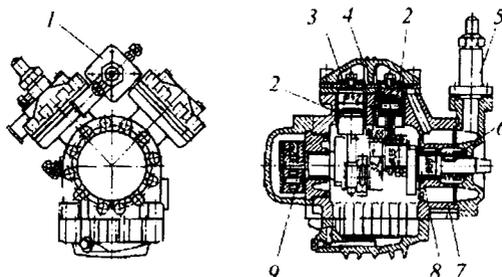


Рис. 11.5. Сальниковый поршневой компрессор:
 1 — клапан всасывающий; 2 — шатунно-поршневая группа; 3 — клапанная доска; 4 — крышка; 5 — клапан нагнетательный; 6 — сальниковое уплотнение; 7 — корпус; 8 — коленчатый вал; 9 — масляный насос

приводит в движение ведомый винт 6. Пар хладагента поступает через всасывающий патрубок 1 во всасывающую полость 5, далее заполняет парные полости, ограниченные зубьями ведущего 8 и ведомого 6 винтов, корпусом 4. После сжатия выталкивается через нагнетательный патрубок 3. Герметичность компрессора на стыке корпуса 4 и ведущего ротора 8 обеспечивается сальниковым уплотнением 7. Регулирование производительности винтового компрессора осуществляется с помощью золотникового устройства 2.

Достоинством винтовых компрессоров является отсутствие возвратного-поступательного движения, что снижает вибрацию машины. Отсутствие всасывающих и нагнетательных клапанов, поршневых колец также повышает надежность эксплуатации винтовых компрессоров. Отсутствие поршневых уплотнительных колец компенсируется подачей масла в полость сжатия, которое снижает перетечки хладагента из полости более высокого давления в полость более низкого давления. К сожалению, отделение масла на стороне нагнетания компрессора требует громоздкого и металлоемкого емкостного и теплообменного оборудования. Поэтому при более компактном и менее металлоемком компрессоре получается в ряде случаев более металлоемкий и громоздкий компрессорный агрегат (рис. 11.7). Наличие относительно простой и компактной системы плавного изменения производительности компрессора делает винтовые компрессорные агрегаты привлекательными в автоматизированных охлаждающих системах.

Основной недостаток сальниковых компрессоров заключается в наличие сальника. Надежность уплотнения сальника достигается при высокой точности и чистоте его изготовления, монтажа. Изготовление бессальниковых компрессоров позволяет избавиться от этого недостатка. В настоящее время бессальниковые компрессоры не применяются только для сжатия аммиака ввиду его разрушающего действия на цветные металлы. В бессальниковых компрессорах (рис. 11.8,а) электродвигатель 7 размещен внутри корпуса 2, поэтому все уплотнения между корпусом и крышками являются прокладками между неподвижными деталями и возможность потерь хладагента через подобные уплотнения существенно меньше, чем при уплотнении между подвижной и неподвижной деталями.

Холодильный агент, поступая в компрессор через всасывающий вентиль 1 (рис. 11.8,а) охлаждает обмотки электродвигателя 7, что позволяет использовать менее мощные и более компактные двигатели. В результате получается более компактный компрессорный агрегат, чем с сальниковым компрессором. Уровень масла в поршневых компрессорах

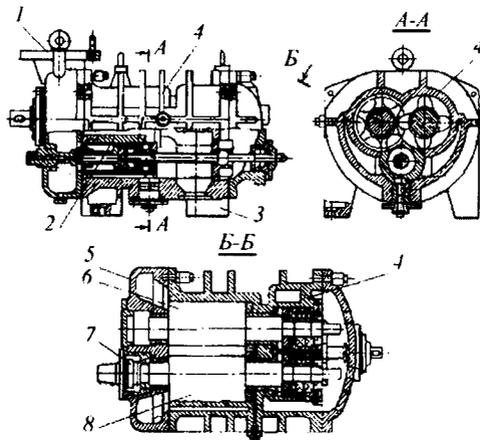


Рис. 11.6. Сальниковый винтовой компрессор:

1 — патрубок всасывающий; 2 — золотник регулятора производительности; 3 — патрубок нагнетательный; 4 — корпус; 5 — полость всасывания; 6 — винт ведомый; 7 — сальниковое уплотнение; 8 — ведущий винт

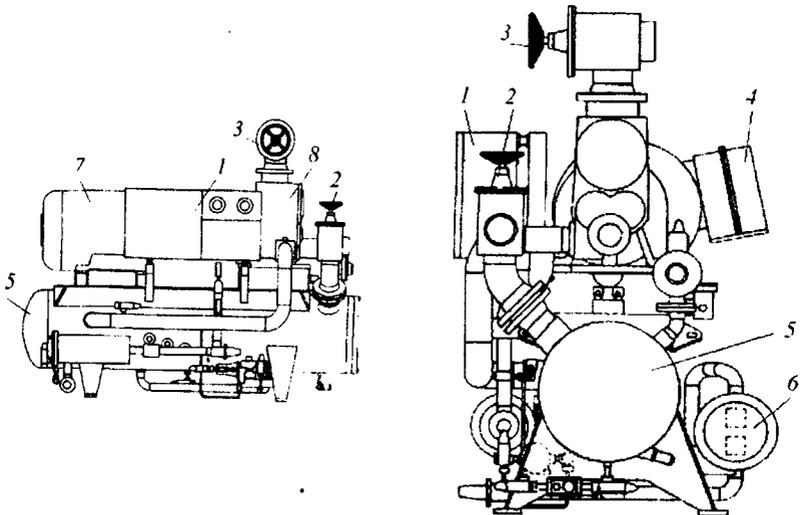


Рис. 11.7. Винтовой компрессорный агрегат:

1 — пульт управления; 2 — клапан нагнетательный; 3 — клапан всасывающий; 4 — клемная коробка; 5 — маслоотделитель; 6 — маслоохладитель; 7 — электродвигатель; 8 — компрессор

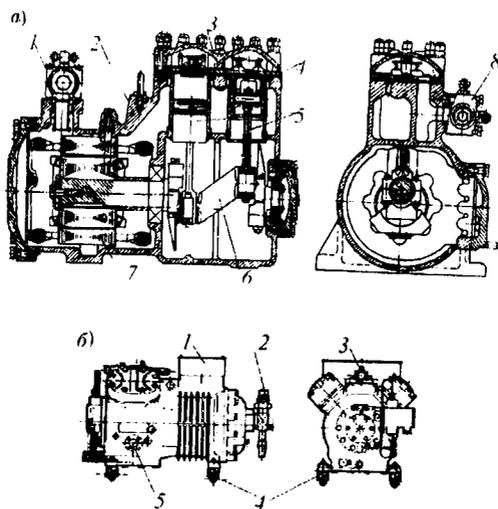


Рис. 11.8. Бессальниковые поршневые компрессоры:

a — разрезы; 1 — вентиль всасывающий; 2 — корпус; 3 — крышка; 4 — клапанная доска; 5 — шатунно-поршневая группа; 6 — коленчатый вал; 7 — электродвигатель; 8 — вентиль нагнетательный; *б* — общий вид; 1 — клемная коробка; 2 — вентиль всасывающий; 3 — вентиль нагнетательный; 4 — виброизоляторы; 5 — окно контроля уровня масла

контролируется по смотровому глазку 5 (рис. 11.8,б). Снижение влияния вибрации компрессора на строительные конструкции достигается с помощью виброизоляторов 4, которые некоторые фирмы включают в состав компрессорного агрегата при его поставке заказчику.

Бессальниковые винтовые компрессорные агрегаты выпускаются фирмами с горизонтальным и вертикальным расположением роторов. Электродвигатель может быть размещен как со стороны всасывания хладагента (рис. 11.9,б), так и на стороне нагнетания хладагента (рис. 11.9,а). Во втором варианте исполнения в моноблок встраивается и масляная система 5 (рис. 11.9,а). Достоинства бессальниковых винтовых компрессорных агрегатов перед сальниковыми: компактность, меньшая металлоемкость, надежная герметичность, более низкие уровни шума и вибрации.

Наиболее высокие требования герметичности оборудования предъявляются к компрессорным агрегатам, которые работают в автоматизированных системах в условиях отсутствия специализированного обслуживающего персонала. К такому оборудованию относятся бытовые холодильники, торговое холодильное оборудование, бытовые и офисные кондиционеры, холодильное технологическое оборудование со встро-

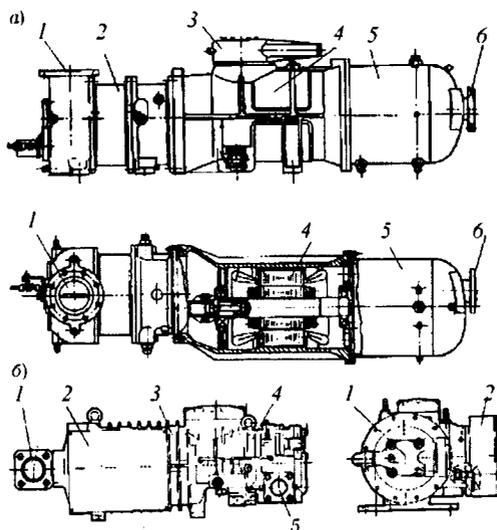


Рис. 11.9. Бессальниковые винтовые компрессоры:

a — всасывание через компрессор; 1 — патрубок всасывающий; 2 — компрессор; 3 — клемная коробка; 4 — электродвигатель; 5 — маслоотделитель; 6 — патрубок нагнетательный; 6 — всасывание через электродвигатель; 1 — вентиль всасывающий; 2 — клемная коробка; 3 — электродвигатель; 4 — компрессор; 5 — вентиль нагнетательный

енными холодильными машинами и другие. Компрессоры и электродвигатель вмонтированы в неразборный кожух 1 (рис. 11.10, *a*) или 2 (рис. 11.10, *б*).

Более высокая надежность оборудования полной заводской готовности предопределила также выпуск оборудования в виде компрессорно-конденсаторных агрегатов (рис. 11.11) и холодильных машин, включающих все элементы для производства холода (рис. 11.12).

Показанный на рис. 11.11 компрессорно-конденсаторный агрегат используется для децентрализованных систем охлаждения камер хранения пищевых продуктов и другого холодильного технологического оборудования. Холодильная машина, представленная на рис. 11.12, предназначена для охлаждения жидкого хладоносителя (воды, водных растворов солей и гликолей). Холодильная машина устанавливается в машинном отделении, а к холодильным технологическим аппаратам подается промежуточный хладоноситель. Заправка холодильным агентом в этом варианте наименьшая, что удешевляет эксплуатацию и снижает потери хладагента.

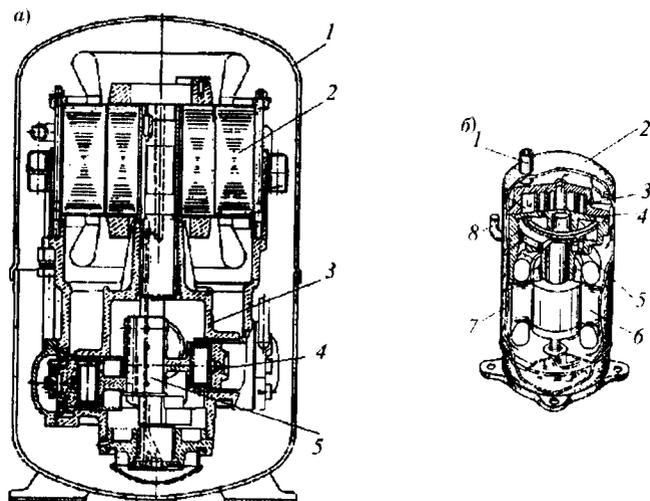


Рис. 11.10. Герметичные компрессоры:

a — поршневой; 1 — кожух; 2 — электродвигатель; 3 — корпус; 4 — шатунно-поршневая группа; 5 — эксцентриковый вал; *b* — спиральный; 1 — патрубок всасывающий; 2 — кожух; 3 — спираль неподвижная; 4 — спираль подвижная; 5 — корпус; 6 — электродвигатель

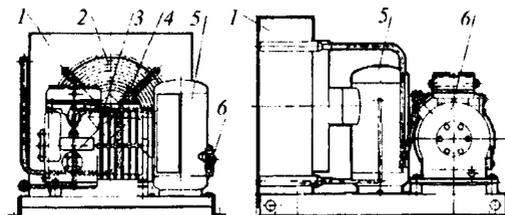


Рис. 11.11. Компрессорно-конденсаторный агрегат:

1 — конденсатор воздушного охлаждения; 2 — вентилятор; 3 — компрессор поршневой бессальниковый; 4 — вентиль всасывающий; 5 — линейный ресивер; 6 — вентиль жидкостный

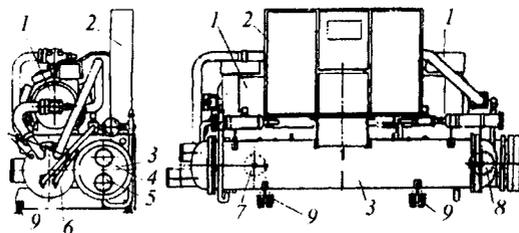


Рис. 11.12. Холодильная машина:

1 — поршневой многоцилиндровый компрессор; 2 — пульт управления; 3 — конденсатор водяного охлаждения; 4 — патрубок выхода воды; 5 — патрубок входа воды; 6 — испаритель для охлаждения жидкого хладоносителя; 7 — патрубок входа хладоносителя; 8 — патрубок выхода хладоносителя; 9 — виброизоляторы

Фирмы, производящие холодильное оборудование, вносят основную информацию о характеристиках в марку агрегатов. В качестве примеров можно рассмотреть маркировку, которая используется отечественными фирмами: компрессорный агрегат А80-7-2, двухступенчатые компрессорный агрегат 21АД300-7-5, компрессорно-конденсаторный агрегат АК40-2-0, холодильная машина 21МКТ280-2-3. В марках принимаются обозначения: А — компрессорный агрегат, АД — двухступенчатый компрессорный агрегат, АК — компрессорно-конденсаторный агрегат с конденсатором водяного охлаждения, АВ — компрессорно-конденсаторный агрегат с конденсатором воздушного охлаждения, М — агрегатированная холодильная машина. Цифра после обозначения типа агрегата показывает его холодопроизводительность в кВт. Следующая цифра показывает вид хладагента, на котором работает данный агрегат (2 — хладон 22, 7 — аммиак). Четная последняя цифра указывает на отсутствие регулирования холодопроизводительности у данного агрегата, а нечетная — о наличии. Кроме того, последняя цифра позволяет оценить диапазон работы холодильного агрегата или холодильной машины: 0, 1 — высокотемпературный (характерный для водоохлаждающих машин или систем кондиционирования воздуха); 2, 3 — среднетемпературный (например, системы охлаждения объектов для хранения пищевых продуктов); 4, 5 — низкотемпературный (замораживание пищевых продуктов); 6, 7 — поджимающий (компрессор используется в качестве первой ступени двухступенчатого компрессорного агрегата).

Компрессорный агрегат можно подобрать по объемной подаче, по заводским характеристикам, которые представляются в виде графиков или таблиц, приводимых в каталогах, а также в форме электронных программ для подбора оборудования с помощью ЭВМ.

Подбор компрессорного агрегата рекомендуется проводить в следующей последовательности. Необходимо определить расчетные параметры: холодопроизводительность Q_p , температуру кипения хладагента, температуру конденсации хладагента. Построить цикл холодильной машины в термодинамической диаграмме. После этого рассчитывается массовый поток хладагента

$$M = Q_p / q_0. \quad (11.3)$$

Действительная объемная подача компрессора находится по зависимости

$$V_d = m_{\text{км}} v_{\text{вс}}, \quad (11.4)$$

где $v_{\text{вс}}$ — удельный объем пара хладагента в точке всасывания в компрессор.

Теоретическая объемная подача компрессора определяется с учетом коэффициента подачи

$$V_T = V_d / \lambda. \quad (11.5)$$

При подборе компрессора должно соблюдаться условие

$$V_T / V_{\text{кат}} \leq 0,92, \quad (11.6)$$

где $V_{\text{кат}}$ — объемная подача компрессорного агрегата по данным каталога.

Это условие относится и к подбору компрессорно-конденсаторных агрегатов, а также холодильных машин. Подбирая холодильное оборудование, следует учитывать и его надежность. Так, поршневые компрессоры подбираются для промышленных охлаждаемых объектов в количестве не менее двух, в сумме обеспечивающих требуемую объемную подачу. Важно обращать внимание на подбор оборудования одной марки или одной фирмы, что позволяет уменьшить эксплуатационные расходы на запасные части и расходные материалы.

Заводские характеристики для подбора холодильных компрессорных агрегатов представляются в виде зависимости холодопроизводительности компрессора и потребляемой мощности от температуры кипения хладагента и температуры конденсации (рис. 11.5). Применительно к компрессорно-конденсаторным агрегатам аналогичные графики представляются в виде зависимостей холодопроизводительности компрессора и потребляемой мощности от температуры кипения и температуры воды или воздуха на входе в конденсатор. Графики для холодильных машин

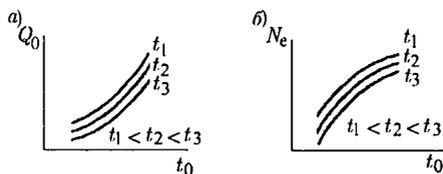


Рис. 11.13. Характеристики компрессорных агрегатов:

a — холодопроизводительность; b — потребляемая мощность; Q_0 — холодопроизводительность; N_e — потребляемая мощность; t_0 — температура кипения хладагента; t_1, t_2, t_3 — температуры конденсации хладагента

представляются в виде зависимостей холодопроизводительности компрессора и потребляемой мощности от температуры воздуха в охлаждаемом объекте и температуры наружного воздуха, температуры жидкого хладоносителя на выходе из испарителя и температуры воды на входе в конденсатор и других комбинаций.

Подбор агрегатов или холодильных машин ведется методом перебора вариантов с учетом дополнительных факторов: возможности размещения оборудования, стоимости и других.

АППАРАТЫ И НАСОСЫ

Основными теплообменными аппаратами называются теплообменники, без которых невозможно производство холода в холодильном цикле. К ним относятся испарители и конденсаторы. Остальные аппараты, способствующие более эффективному выполнению основных и вспомогательных процессов, принято относить к вспомогательным. К ним причисляют также емкостные, тепло- и массообменные аппараты.

12.1 Испарители

Испарители подразделяются на аппараты для охлаждения жидкостей, которые принято называть испарителями, и аппараты для охлаждения воздуха: воздухоохладители и батареи. Производится также холодильное технологическое оборудование, в котором испаритель является частью технологического аппарата и производит охлаждение продукта непосредственно или через разделительную металлическую стенку. В испарителе происходит кипение хладагента за счет теплоты, отбираемой от промежуточного хладоносителя (продукта), иногда — перегрев хладагента.

Испарители для охлаждения жидкостей выпускаются в виде кожухотрубных, погружных и пластинчатых аппаратов.

Кожухотрубные испарители имеют две принципиально различающиеся конструкции: с кипением хладагента внутри труб (рис. 12.1) и с кипением хладагента в межтрубном пространстве (рис. 12.2).

Кожухотрубные испарители с кипением хладагента внутри труб применяются для охлаждения воды и используются в холодильных установках получения холодной воды, например в системах кондиционирования воздуха, пастеризационно-охладительных установках переработки молока, производства пива и других. Жидкий холодильный агент поступает через патрубок 6 в пучок труб, где кипит за счет отбора теплоты от хладоносителя. Образовавшийся пар перегревается и выходит через патрубок 5. Для повышения интенсивности теплообмена внутрь труб вставляются ребра. Жидкий хладоноситель поступает в межтрубное пространство аппарата через патрубок 4, понижает свою температуру и выходит через патрубок 5. Эффективность теплообмена обеспечивается установкой на трубах перегородок, заставляющих хладоноситель двигаться от патрубка 4 к патрубку 2 зигзагом. Достоинством испарителей данного типа является отсутствие опасности раз-

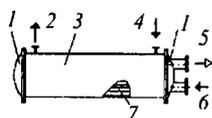


Рис. 12.1. Испаритель с кипением хладагента внутри труб:

1 — крышка; 2 — выход хладоносителя; 3 — кожух; 4 — вход хладоносителя; 5 — выход хладагента; 6 — вход хладагента; 7 — трубы

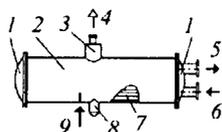


Рис. 12.2. Испаритель с кипением хладагента в межтрубном пространстве:

1 — крышка; 2 — кожух; 3 — сухопарник; 4 — выход хладагента; 5 — выход хладоносителя; 6 — вход хладоносителя; 7 — трубы; 8 — маслосборник; 9 — вход хладагента

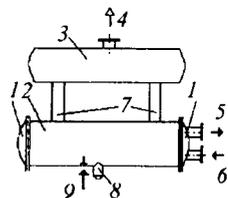


Рис. 12.3. Испаритель с отделителем жидкости:

1 — крышка; 2 — кожух; 3 — отделитель жидкости; 4 — выход хладагента; 5 — выход хладоносителя; 6 — вход хладоносителя; 7 — соединительные трубы; 8 — маслосборник; 9 — вход хладагента

рушения аппарата при замерзании воды, так как вода замерзает на поверхности труб, а не внутри.

Кожухотрубный испаритель с кипением хладагента в межтрубном пространстве используется для охлаждения промежуточных хладоносителей с низкой температурой замерзания, например водных растворов солей или гликолей, которые широко применяются при переработке молока, производстве пива и других производствах. Холодильный агент поступает в испаритель через патрубок 9, кипит в межтрубном пространстве; образовавшийся пар перегревается и выходит через патрубок 4. Хладоноситель направляется в пучок труб испарителя через патрубок 6, понижает свою температуру и выходит через патрубок 5. Повышение эффективности теплообмена достигается установкой в крышках 1 перегородок, позволяющих уменьшить количество труб в одном проходе и повысить скорость движения хладоносителя. Подобные испарители называются многоходовыми. Безопасность работы компрессора обеспечивается установкой после испарителя отделителя жидкости. В ряде вариантов такое исполнение предусматривается фирмой-производителем испарителей (рис. 12.3).

Погружные испарители используются для получения ледяной воды с температурой около 0°C. Они изготавливаются двух конструкций: панельные (рис. 12.4) и трубчатые (рис. 12.5). Жидкий хладагент поступает через патрубок 6 в панели или трубчатые батареи 4, где кипит за счет теплоты хладоносителя, и направляется в отделитель жидкости 2. Из отделителя жидкости пар через патрубок 1 направляется в компрессор.

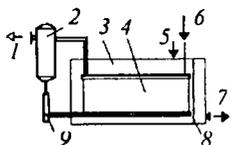


Рис. 12.4. Испаритель погружной панельный:

1 — выход пара хладагента, 2 — отделитель жидкости; 3 — бак с водой, 4 — панель с кипящим хладагентом; 5 — вход воды; 6 — вход жидкого хладагента; 7 — выход воды; 8 — перегородка, 9 — маслосборник

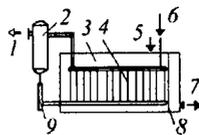


Рис. 12.5. Испаритель погружной трубчатый:

1 — выход пара хладагента, 2 — отделитель жидкости; 3 — бак с водой, 4 — трубчатая батарея с кипящим хладагентом; 5 — вход воды; 6 — вход жидкого хладагента; 7 — выход воды; 8 — перегородка, 9 — маслосборник

Жидкий хладагент, выброшенный из испарительной части 4, отделяется в отделителе жидкости и через маслосборник возвращается в теплообменную часть 4. Вода забирается из бака 3 насосом и подается в технологические аппараты, откуда возвращается в бак по трубопроводу 5. Повышение эффективности теплообмена достигается установкой мешалки в перегородке 8, которая увеличивает скорость движения воды в баке 3. Испарители подобного типа используются для аккумуляции холода путем намораживания льда на поверхности панелей или трубчатых батарей. Теплообменная поверхность у аккумуляторов холода примерно раза в два меньше, чем у аналогичных испарителей из-за необходимости наличия свободного пространства для размещения ледяной корки на теплообменной поверхности и обеспечения движения воды. Маслосборник устанавливается у испарителей, работающих на аммиаке. Так как плотность масла выше плотности жидкого аммиака, то масло собирается в нижней части и периодически выпускается из испарителя.

В настоящее время находят все более широкое применение пластинчатые испарители (рис. 12.6). Достоинство их заключается в высокой эффективности теплообмена, возможности реализации небольшого температурного напора, малой металлоемкости, малой вместимости по хладагенту, возможности быстрой разборки и замены поврежденных пластин. Универсальность пластин позволяет компоновать из нескольких типов пластин теплообменные аппараты различной теплообменной поверхности и с разнообразной организацией движения теплообмениваемых сред.

Конструкции воздухоохладителей наиболее распространенных типов приведены на рис. 12.7. Жидкий холодильный агент поступает через коллектор 2 в батарею 3, где кипит за счет теплоты воздуха. Пар хладагента выходит через коллектор 6. Такой способ подачи хладаген-

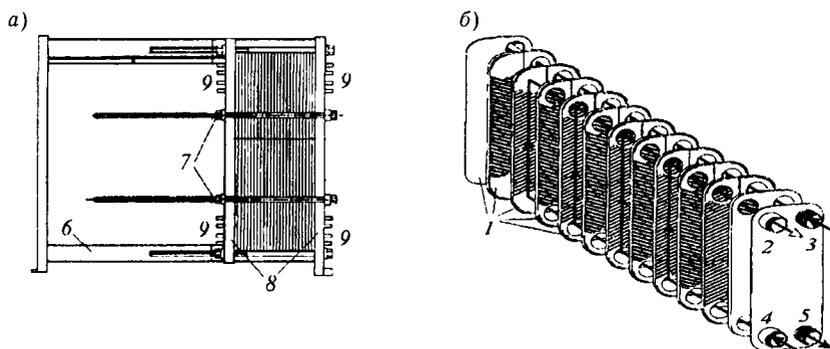


Рис. 12.6. Испаритель пластинчатый: *а* — принцип движения сред между пластинами, *б* — общий вид;

1 — пластины; 2 — выход хладагента; 3 — вход хладоносителя; 4 — вход хладагента; 5 — выход хладоносителя; 6 — станина; 7 — крепёжные элементы; 8 — силовые пластины; 9 — патрубки

та называют верхним, если коллекторы поменять местами, то способ подачи будет нижний. Использование вентиляторов 4 позволяет повысить эффективность теплообмена со стороны воздуха в три-четыре раза. Под охлаждающей батареей предусматривается поддон, в который собирается вода при оттаивании инея с поверхности батареи воздухоохлаждителя. Компактность воздухоохлаждителей позволяет автоматизировать процессы охлаждения воздуха и оттаивания инея. Охлаждающая батарея воздухоохлаждителей изготавливается из труб, имеющих оребрение. Воздухоохлаждители выпускаются с различным шагом между ребрами. В аммиачных воздухоохлаждителях применяются стальные трубы. Воздухоохлаждители с малым шагом между ребрами используются в охлаждаемых помещениях с относительно высокими температурами, в условиях выпадения на поверхности батарей капельной влаги или в помещениях в малом влаговыведении. Воздухоохлаждители с большим шагом оребрения применяются в технологических аппаратах или помещениях холодильной обработки неупакованных пищевых продуктов, отличающихся большими влаговыведениями. В некоторых конструкциях технологических аппаратов предусматривают воздухоохлаждители с гладкими трубами.

Оттаивание инея с батарей и обогрев поддона может производиться как паром хладагента со стороны нагнетания компрессора, так и электронагревателями (трубчатыми или гибкими). Некоторые конструкции воздухоохлаждителей позволяют использовать в качестве охлаждающей среды промежуточные хладоносители. При этом коэффициент теплопередачи снижается примерно на 10%.

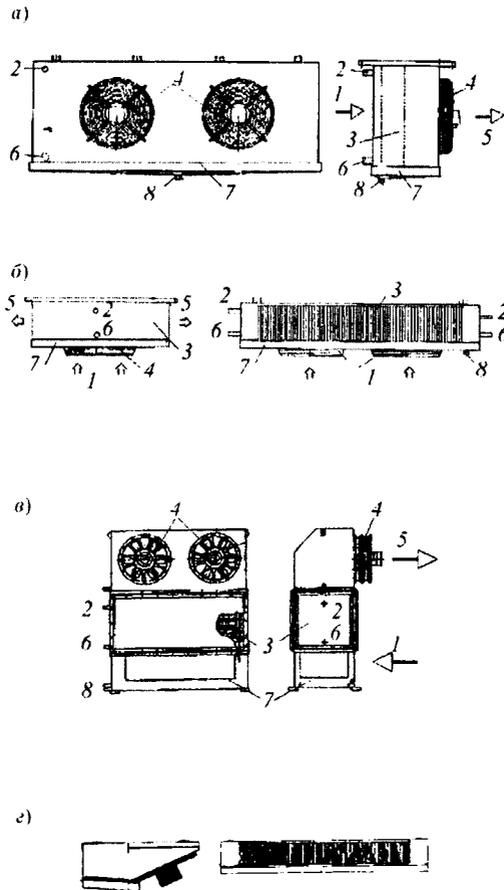


Рис. 12.7. Конструкции воздухоохлаждателей: *а* — подвесной, без изменения направления воздуха; *б* — подвесной, с изменением направления воздуха; *в* — постаментный; *г* — воздухоохлаждатель для камер малого объема;

1 — вход воздуха; *2* — вход хладагента; *3* — батарея с кипящим хладагентом; *4* — вентилятор; *5* — выход воздуха; *6* — выход хладагента; *7* — поддон сбора талой воды; *8* — патрубок слива талой воды

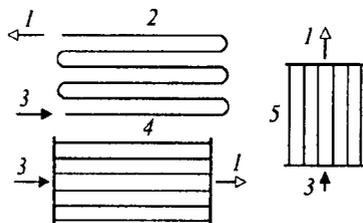


Рис. 12.8. Батареи:

1 — выход пара хладагента, *2* — змеевиковая батарея; *3* — вход жидкого хладагента; *4* — горизонтально-трубная коллекторная батарея; *5* — вертикально-трубная коллекторная батарея

Батареи выполняются из гладких или оребренных труб. Для изготовления батарей используются стальные, медные, стеклянные трубы. Батареи изготавливаются из гладких труб и из труб имеющих оребрение. Ребра изготавливаются пластинчатые, спирально-навивные.

Конструкции батарей — змеевиковые, коллекторные (вертикально-трубные и горизонтально-трубные), одно- и многорядные (рис. 12.8). Выпускаются также готовые батареи и унифицированные блоки, из которых компонуются батареи. Батареи и воздухоохладители могут работать не только с кипящим хладагентом, но и с хладоносителем.

12.2 Конденсаторы и градирни

Конденсаторы производятся водяного, воздушного и водовоздушного охлаждения. Кожухотрубные конденсаторы имеют водяное охлаждение. Они бывают вертикальными или горизонтальными (рис. 12.9). Пар холодильного агента *1* поступает в межтрубное пространство аппарата, охлаждается, конденсируется на трубах *4*, по которым протекает охлаждающая вода. Жидкий хладагент *5* отводится из нижней части аппарата. В вертикальном конденсаторе вода *2* подается в верхний бак, служащий распределителем, а сливается из труб в бассейн. В горизонтальном конденсаторе вода поступает в нижний патрубок *2*, а нагретая выходит через верхний патрубок *6*. Жидкий хладагент может охлаждаться несколько ниже температуры конденсации. Вертикальные конденсаторы предпочтительнее использовать в случае применения воды повышенной жесткости или загрязненной, так как они доступнее для чистки теплообменной поверхности, чем горизонтальные.

Находят все более широкое применение и пластинчатые конденсаторы. Устройство их аналогично пластинчатым испарителям (рис. 12.6). Отличие связано с организацией движения хладагента и охлаждающей воды.

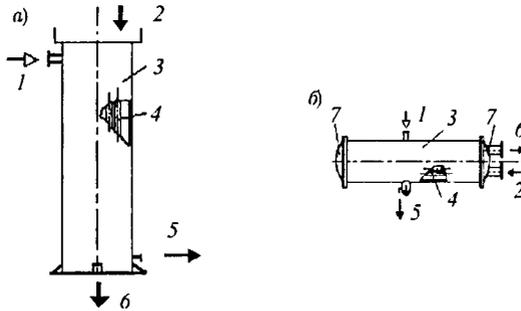


Рис. 12.9. Кожухотрубные конденсаторы: *а* — вертикальнотрубный; *б* — горизонтальнотрубный;

1 — вход пара хладагента; 2 — вход воды; 3 — кожух; 4 — трубы; 5 — выход жидкого хладагента; 6 — выход воды; 7 — крышки

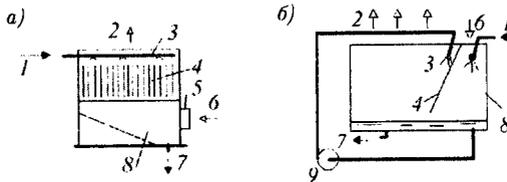


Рис. 12.10. Градирни: *а* — вентиляторная; *б* — эжекторная;

1 — вход воды; 2 — выход воздуха; 3 — трубопровод с форсунками; 4 — насадка; 5 — вентилятор; 6 — вход воздуха; 7 — выход воды; 8 — корпус; 9 — циркуляционный насос

Вода, взятая из источника (водопровод, река и др.), после нагрева в конденсаторе не сбрасывается в канализацию, а охлаждается в теплообменных аппаратах и возвращается в конденсатор для повторного использования. Охлаждение воды производится летом в большей мере за счет ее частичного испарения (около 1%), а зимой — в основном, за счет более низкой температуры окружающего воздуха. В качестве устройств охлаждения воды применяются вентиляторные градирни с насадками (рис. 12.10,а). В последнее время используются эжекторные (безвентиляторные) градирни, основное достоинство которых заключается в низком уровне шума (рис. 12.10,б).

Недостаток оборотной системы охлаждения, связанный с необходимостью применения двух типов аппаратов (конденсатора и градирни), преодолен в конструкции конденсатора испарительного типа, совмещающего в себе функции конденсатора водяного охлаждения и градирни (рис. 12.11). Некоторый проигрыш в эффективности теплообмена окупается возможностью применения конденсатора в зимний период времени в качестве аппарата воздушного охлаждения, что позволяет сни-

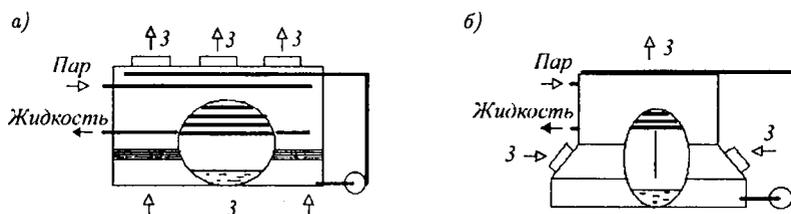


Рис. 12.11. Конденсаторы испарительного типа: *а* — с верхним расположением вентиляторов; *б* — с нижним расположением вентиляторов

зять давление (температуру) конденсации и уменьшить расход электроэнергии на выработку холода.

Применяются также конденсаторы воздушного охлаждения, но интенсивность передачи теплоты воздуху почти в 50 раз меньше, чем воде. Конденсаторы подобного типа используются там, где вода дефицитна или ее применение нерационально (бытовые холодильники, торговое холодильное оборудование). Целесообразно использование конденсаторов воздушного охлаждения и в условиях повышенной запыленности атмосферы, особенно при образовании кислотной или щелочной среды в воде вследствие поглощения пылевых частиц. В подобной атмосфере аппараты водяного охлаждения быстро разрушаются из-за коррозии. Конденсаторы воздушного охлаждения могут передавать теплоту воздуху за счет его естественной циркуляции (бытовые холодильники) и путем принудительного движения воздуха через оребренную теплообменную поверхность (рис. 12.12).

В литературе, чаще переводной, встречается термин «сухая градирня». В этом случае в качестве водоохлаждаемого устройства применяется аппарат воздушного охлаждения. Его устройство аналогично конденсатору воздушного охлаждения (рис. 12.12,б).

12.3 Вспомогательные аппараты

В качестве вспомогательных емкостных аппаратов применяются линейные ресиверы (рис. 12.13), которые предназначены для хранения запаса хладагента, компенсации неравномерности расхода хладагента вследствие переменности теплопритоков, сбора хладагента на период ремонта и выполняют функцию гидравлического затвора, предотвращая прорыв пара высокого давления в испарители. Аммиачные линейные ресиверы имеют горизонтальное исполнение, а хладоновые производятся как горизонтальные, так и вертикальные.

Выполнение некоторых вспомогательных операций при эксплуатации холодильной установки производится с применением дренажного

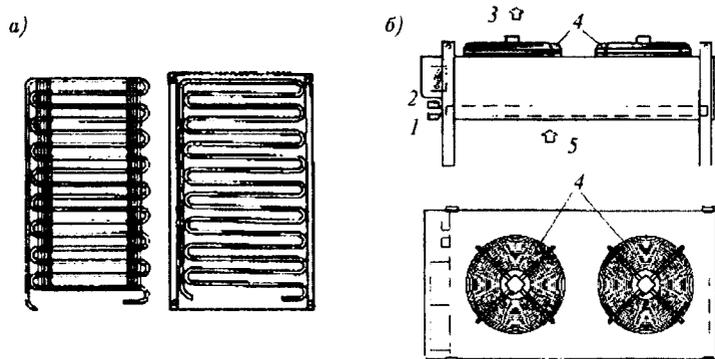


Рис. 12.12. Конденсаторы воздушного охлаждения: *а* — с естественным движением воздуха; *б* — с принудительным движением воздуха

1 — выход жидкого хладагента; *2* — вход пара хладагента; *3* — выход воздуха; *4* — вентиляторы; *5* — вход воздуха

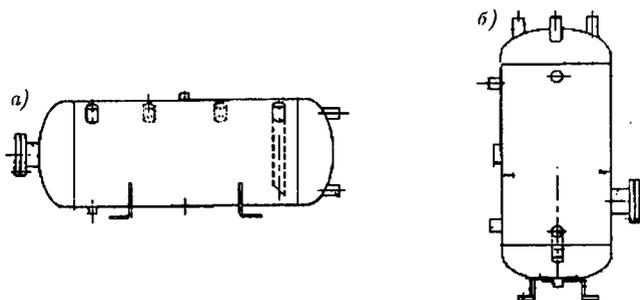


Рис. 12.13. Линейный ресивер: *а* — горизонтальный; *б* — вертикальный

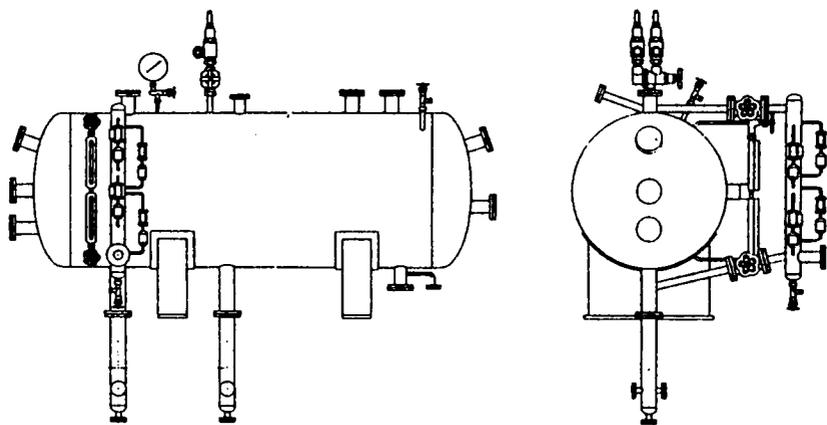


Рис. 12.14. Компаундный ресивер

ресивера, в частности оттаивание инея и удаления масла из батарей, воздухоохладителей, освобождение теплообменных и емкостных аппаратов от хладагента при ремонтах и аварийных ситуациях. Дренажные ресиверы унифицированы по используемому металлу и условиям эксплуатации с линейными.

В системах охлаждения с многократной циркуляцией хладагента (насосных) устанавливаются *циркуляционные ресиверы*, предназначенные для поддержания подпора хладагента перед циркуляционным насосом, приема жидкого хладагента из испарительной системы при остановке насоса, защите компрессора от влажного хода. Циркуляционные ресиверы выпускаются горизонтальные и вертикальные. Основное отличие циркуляционных ресиверов — наличие одного или нескольких стояков, к которым подключаются насосы. Стояки позволяют создать необходимый подпор для надежной работы насосов при небольшом увеличении объема хладагента в холодильной установке.

Ресиверы, выполняющие несколько функций, например, циркуляционного ресивера, линейного ресивера, промежуточного сосуда называют *компаундными* (рис. 12.14).

Защиту компрессора от влажного хода осуществляют в системах с безнасосной подачей хладагента в испарительную систему с помощью *защитных ресиверов* или *отделителей жидкости*. В качестве защитных ресиверов используются аналогичные приведенным на рис. 12.14, но не имеющие стояка. Вид отделителей жидкости приведен на рис. 12.15. Жидкость из аммиачных отделителей жидкости удаляется в защитные ресиверы или возвращается в испаритель. Из хладонного

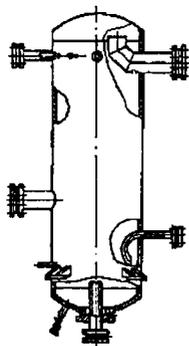


Рис. 12.15. Отделитель жидкости

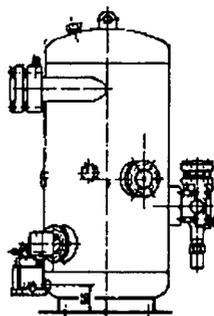


Рис. 12.16. Маслоотделитель вертикальный хладоновый

отделителя жидкости производится удаление жидкого хладагента и смазочного масла малыми порциями через трубочку малого диаметра или отверстие внизу U-образной трубы.

Отделение смазочного масла от потока хладагента производят с помощью разнообразных маслоотделителей, отличающихся принципом отделения жидкого масла от парообразного или жидкого хладагента: снижение скорости потока, изменение направления потока, закручивание потока, выравнивание скорости потока по сечению, снижение температуры потока и сочетания нескольких принципов. По исполнению маслоотделители производятся вертикальные, горизонтальные, комбинированные (рис. 12.16).

В двухступенчатых компрессорных агрегатах применяются промежуточные сосуды для охлаждения пара между низкой и высокой степенями и дополнительного охлаждения жидкого аммиака после конденсатора (рис. 12.17). В винтовых компрессорных агрегатах используется экономайзер, который выполняется в виде кожухотрубного аппарата или пластинчатого.

В винтовых компрессорных агрегатах производится охлаждения смазочного масла в *маслоохладителе* (рис. 12.18) хладагентом, водой или промежуточным хладоносителем в зависимости от конструкции агрегата. Маслоохладители выпускаются кожухотрубного или пластинчатого исполнения.

В хладоновых холодильных установках используются регенеративные теплообменники нескольких конструкций: труба в трубе (рис. 12.19), а также кожухотрубные и пластинчатые. Устройство кожухотрубных и пластинчатых регенеративных теплообменников аналогично устройству соответствующих конденсаторов и испарителей.

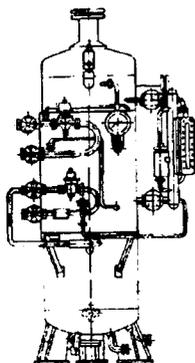


Рис. 12.17. Промежуточный сосуд

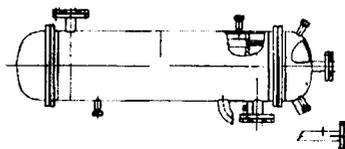


Рис. 12.18. Маслоохладитель водяного охлаждения

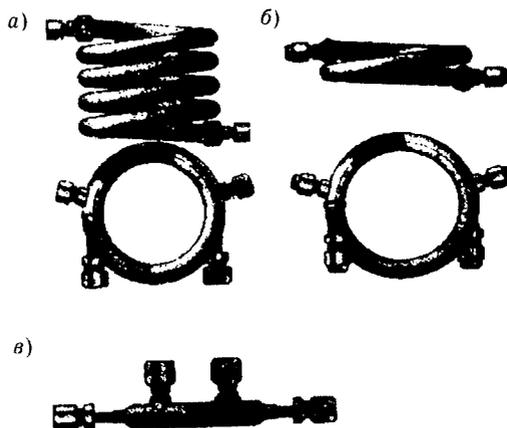


Рис. 12.19. Регенеративные теплообменники
a — змеевик в трубе; *б* — труба в трубе кольцевые; *в* — труба в трубе прямой



Рис. 12.20. Расширительный бачок: *a* — нерабочее состояние; *б* — рабочее состояние; *в* — избыточное давление в системе

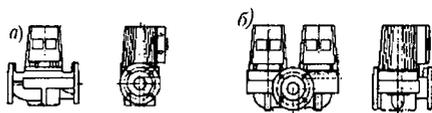


Рис. 12.21. Насосы для воды и хладоносителя: *a* — «in line» одинарный; *б* — «in line» двойной

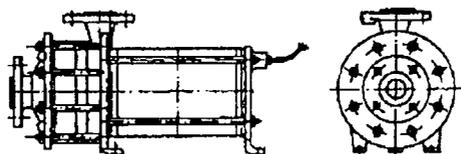


Рис. 12.22. Насос для хладагента

В системах с промежуточным хладоносителем используются расширительные бачки с диафрагмой, что позволяет избежать контакта хладоносителя с воздухом и появляется возможность установки расширительного бачка в любой точке охлаждающей системы (рис. 12.20).

Подача воды в конденсаторы водяного охлаждения производится центробежными насосами консольного исполнения или типа «in line» (рис. 12.21). Циркуляция промежуточного хладоносителя осуществляется аналогичными насосами. Консольные насосы требуют больше места для размещения, чем насосы «in line», но допускают работу с загрязненной водой или хладоносителем. Насосы «in line» выпускаются двух модификаций: одинарный и двойной. Достоинство двойного насоса состоит в еще большей компактности, что позволяет существенно уменьшить занимаемую под насосы площадь и снизить затраты на строительные и монтажные работы.

Подача хладагента в насосных испарительных системах производится герметичными насосами (рис. 12.22). Насосы выпускаются одно и многоступенчатые. Смазка трущихся деталей, а также охлаждение электродвигателя осуществляется перекачиваемым хладагентом. Некоторые конструкции насосов имеют встроенный сепаратор пара, что позволяет уменьшить подпор жидкого хладагента перед насосом.

В количественном отношении наибольшая доля в холодильных установках приходится на арматуру: запорную, регулирующую, предохранительную (рис. 12.23).

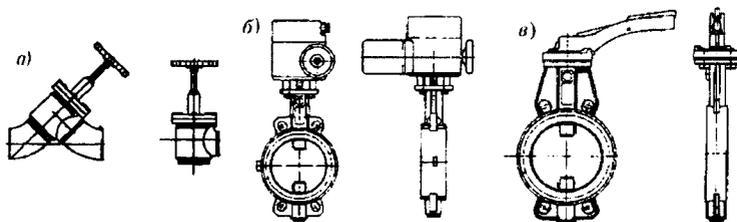


Рис. 12.23. Арматура: *а* — вентили аммиачные запорные под сварку, проходной и угловой; *б* — клапан запорный с ручным приводом для воды и хладоносителей; *в* — клапан запорный с электроприводом для воды и хладоносителей

Арматура из ковкого чугуна может применяться при температурах не ниже минус 30°C , в остальных случаях используется стальная арматура. На небольших хладоновых холодильных установках используется арматура из цветных металлов.

СХЕМЫ ХОЛОДИЛЬНЫХ УСТАНОВОК

13.1 Классификация схем и способы охлаждения

Требования, предъявляемые к схемам, и их классификация. *Схемой холодильной установки* называется ее графическое изображение, дающее представление как о наличии элементов (компрессоров, аппаратов, трубопроводов и др.), так и об их взаимной связи. Одновременно под схемой понимают своеобразное сочетание элементов, выполняющих определенную функцию.

Схема холодильной установки должна обеспечивать выполнение заданных функций в регламентированных условиях и при этом быть по возможности простой и наглядной; предрасположенной к автоматизации; гибкой в управлении; удобной для технического обслуживания и ремонта, а также безопасной в эксплуатации.

Существует много видов схем, например:

— *функциональная*, поясняющая работу изображенных элементов;

— *принципиальная* (полная), содержащая все элементы и связи между ними и дающая представление о принципах работы и соединениях (трубопроводов хладагента, воды);

— *монтажная*;

— *гидравлическая* и др.

Кроме того, очень обширна классификация схем по структурным особенностям. Значительные структурные отличия имеют холодильные системы, реализующие разные способы охлаждения объектов: *непосредственный* и *косвенный*.

Непосредственное и косвенное охлаждение. В зависимости от вида среды, охлаждающей объект (помещение, аппарат), способы их охлаждения подразделяют на непосредственный и косвенный.

Непосредственное охлаждение предполагает, что теплота из охлаждаемого объекта отводится хладагентом, кипящим в испарителе (охлаждающем устройстве) холодильной установки при температуре $t_a = t_o$ (рис. 13.1,а).

Косвенное охлаждение отличается тем, что теплота из охлаждаемого объекта отводится жидкостью, которая аккумулирует теплоту и передает ее хладагенту, находящемуся в испарителе холодильной установки (рис. 13.1,б), обычно расположенном на некотором удалении от охлаждаемого объекта. При отводе теплоты из охлаждаемого объекта

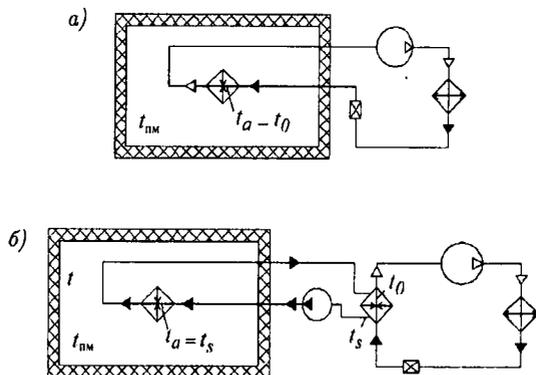


Рис. 13.1. Способы охлаждения объектов:
 а — непосредственное; б — косвенное

температура жидкости в охлаждающих устройствах обычно повышается без изменения ее агрегатного состояния, а средняя температура жидкости $t_a = t_s$).

Области применения того или иного способа определяются их особенностями, оказывающими влияние на технологический процесс, а также экономическими показателями. При непосредственном охлаждении схема холодильной установки проще, так как в ней отсутствуют испаритель для охлаждения хладоносителя и насос для его циркуляции, вследствие чего эта установка требует меньших первоначальных затрат по сравнению со схемой установки, использующей косвенное охлаждение (рис. 13.1).

Холодильная установка с непосредственным охлаждением требует и меньших затрат энергии: во-первых, вследствие того, что в охлаждаемых помещениях с одинаковой температурой $t_{\text{пм}}$ и одной и той же разностью температур $t_{\text{пм}} - t_a$ при охлаждении хладоносителем появляется дополнительная разность температур в испарителе $t_s - t_0$, обычно находящаяся в пределах 4–6 К, вызывающая соответствующее понижение температуры кипения; во-вторых, при охлаждении хладоносителем появляется дополнительный расход энергии, обусловленный не только работой привода насоса, имеющего мощность $N_{\text{н}}$, но и дополнительной нагрузкой на компрессор, возникающей в результате превращения в теплоту работы насоса и подвода этой теплоты к хладоносителю.

Кроме того, современные хладагенты не взаимодействуют с черными металлами, в то время как большинство применяемых в прошлом хладоносителей вызывают коррозию, а некоторые токсичны или пожароопасны.

В то же время способу непосредственного охлаждения присущи и серьезные недостатки. Прежде всего имеется опасность попадания хладагента в помещения (аппараты) при разгерметизации системы.

Опасность для людей значительно увеличивается при применении токсичных хладагентов, например аммиака. Даже при использовании более безопасных хладагентов применение непосредственного охлаждения помещений, в которых может находиться большое количество людей, нежелательно.

Недостатками способа непосредственного охлаждения является также трудность распределения хладагента по отдельным помещениям, а в помещениях — по охлаждающим устройствам (при большом их числе) и возможность возникновения влажного хода компрессора.

Эти трудности связаны с тем, что хладагент должен подаваться в охлаждающие устройства различных помещений в количестве, соответствующем теплопритокам в эти помещения. Но так как теплопритоки во времени изменяются по разным объектам самым различным образом, то при ручном регулировании подачи хладагента эта задача является очень трудоемкой и большей частью трудноразрешимой.

В результате возникает недостаток хладагента в охлаждающих устройствах одних помещений и переполнение жидким хладагентом их в других помещениях. Последнее обычно является причиной влажного хода компрессора и нередко гидравлических ударов.

При охлаждении хладоносителем изменение тепловой нагрузки (при постоянном количестве циркулирующего хладоносителя) вызывает только уменьшение или увеличение значения нагрева в охлаждающих устройствах, что не влечет за собой опасных последствий.

Регулирование же подачи хладагента в этом случае ведется только на один объект — испаритель, в котором колебания нагрузки от отдельных объектов в значительной степени компенсируют друг друга и часто мало отражаются на режиме работы испарителя и компрессора. В связи с этим управлять работой холодильных установок при косвенном охлаждении оказывается значительно проще.

Такое соотношение достоинств и недостатков обоих способов давало до недавнего времени преимущество непосредственному охлаждению, вследствие чего на холодильных предприятиях применялись в основном схемы непосредственного охлаждения. Теперь это положение начинает изменяться в связи с ужесточением требований к потере хладагента в окружающую среду. Поэтому доля холодильных установок с косвенным охлаждением увеличивается.

Существуют условия эксплуатации, при которых могут быть применены холодильные установки только с косвенным охлаждением, например, если:

— использование непосредственного охлаждения не может быть допущено по условиям безопасности для людей, находящихся в охлаждаемых помещениях;

— по условиям осуществления технологического процесса необходим непосредственный контакт хладагента с воздухом, например для увлажнения и очистки воздуха в охлаждаемых помещениях;

— при подаче хладагента на относительно большие расстояния (больше 300–350 м) возникают потери давления хладагента во всасывающем трубопроводе, соизмеримые с понижением давления, обусловленным дополнительной разностью температур $t_s - t_o$ в испарителе;

— условия эксплуатации не позволяют обеспечить необходимую герметичность соединений холодильной установки, например в судовых холодильных установках, поскольку из-за деформаций и вибраций корпуса судна высока вероятность утечки хладагента, а ее устранение во время рейса может быть затруднено;

— при непосредственном охлаждении на температуру кипения хладагента в охлаждающих устройствах существенно влияет статическое давление столба жидкости;

— разветвленную систему при большой ее вместимости в случае непосредственного охлаждения пришлось бы заполнять дорогостоящим хладагентом;

— утечка хладагента в охлаждаемую среду (или наоборот) из-за возможных течей в трубах или аппаратах может привести к существенному изменению качества этих сред.

13.2 Технологические трубопроводы

Технологические трубопроводы — так в холодильной технике называют те трубопроводы, по которым транспортируются хладагент, хладоноситель, вода и другие вещества, обеспечивающие работу холодильной установки.

Технологические трубопроводы соединяют оборудование и во многом определяют эффективность работы холодильной установки.

Общие сведения. В общем случае трубопровод включает прямые участки труб, фасонные детали, арматуру, компенсаторы температурных деформаций, соединения, крепления, уплотняющие прокладки. Фасонные детали предназначены для изменения направления движения пото-

ка (отвод) и диаметра трубопровода (переход); для разделения потока на части (тройник); для перекрытия торцов труб (заглушка).

Арматура подразделяется на запорную, регулирующую, контрольную, предохранительную и защитную. Арматура предназначена: запорная (вентиль, задвижка, кран) — для управления движением потока вещества путем открытия или закрытия затвора; регулирующая (вентиль, клапан) — для изменения количества протекающего вещества путем изменения площади проходного сечения; контрольная (указатель уровня, смотровое стекло) — для наблюдения за уровнем жидкости или ее потоком; предохранительная (предохранительный клапан) — для предотвращения повышения давления сверх допустимого значения путем открытия затвора для удаления вещества; защитная (обратный клапан) — для предотвращения движения потока вещества в обратном направлении, путем автоматического закрытия затвора.

Соединения трубопроводов бывают разъемные и неразъемные. Выбор вида соединения трубопровода зависит от их категории, диаметра, материала и условий эксплуатации. Трубопроводы хладагента соединяют в основном сваркой, а небольшого диаметра — пайкой.

Для уплотнения разъемных соединений применяют прокладки, например, из паронита, или из другого материала с требуемой твердостью и стойкостью в среде хладагента с маслом.

Опоры и подвески служат для крепления горизонтальных и вертикальных линий к конструкциям здания, сооружения или оборудования. Опоры могут быть подвижными и неподвижными.

Неподвижные опоры в отличие от подвижных опор и подвесок предназначены удерживать трубопровод, не допуская его перемещения относительно поддерживающих конструкций. Для трубопроводов с отрицательной температурой транспортируемой среды применяют опоры с теплоизолирующими прокладками.

Трубопроводы характеризуются рабочими давлением p_p (расчетное максимальное избыточное давление, допустимое в процессе эксплуатации), температурой t_p (расчетная температура для определения толщины теплоизоляции, расчета компенсатора) и условным проходом d_y (внутренний диаметр в мм, округленный до размера, установленного стандартом).

В зависимости от свойств (токсичность, пожаро- и взрывоопасность), рабочих параметров и концентрации транспортируемых веществ трубопроводы подразделяются на категории; к трубопроводам каждой из категорий предъявляются разные требования в отношении материалов и методов испытаний трубопроводов после изготовления, монтажа и в процессе эксплуатации.

Материал трубопроводов, фасонных деталей, арматуры и крепежных деталей выбирают с учетом изменения их механических свойств под действием низких температур. Обычно это сталь 20, а трубопроводы небольшого диаметра для всех хладагентов, кроме аммиака, выполняют из красной меди марки МЗ.

Технологические трубопроводы подразделяют на внутрицеховые, соединяющие оборудование в пределах машинного (аппаратного) отделения и открытой площадки, и межцеховые, соединяющие оборудование машинного отделения с охлаждаемыми объектами (аппаратным отделением), расположенными на значительном расстоянии друг от друга.

Внутрицеховые и межцеховые трубопроводы, транспортирующие среду с постоянными параметрами (температура, давление, массовая подача), принято называть линией. Трубопроводы различают как нагнетательные, всасывающие, паровые, жидкостные, дренажные, а также по виду транспортируемого вещества (аммиачный, водяной и т. д.).

Основные требования. Трубопроводы должны:

- соответствовать требованиям НТД;
- обеспечивать требуемую объемную подачу веществ;
- иметь приемлемое значение падения давления транспортируемого вещества;
- предотвращать передачу вибрации от механизмов.

Всасывающий трубопровод должен:

- обеспечивать возврат масла в компрессор, если хладагент и масло взаимно растворимы;
- предотвращать накопление жидкости и защищать компрессор от ее поступления в полость сжатия.

Нагнетательный трубопровод должен:

- обеспечивать движение масла, если хладагент и масло взаимно растворимы;
- предотвращать накопление жидкости и защищать компрессор от ее поступления.

Жидкостный трубопровод должен обеспечивать некоторое переохлаждение жидкости, исключаящее ее кипение на пути до охлаждающих устройств.

Присоединение всасывающих и нагнетательных трубопроводов к магистральным (основным) должно выполняться сверху, чтобы в трубопроводах неработающих компрессоров не накапливалась жидкость (масло, хладагент). Магистральные трубопроводы должны иметь уклон не менее 0,005: всасывающие в сторону отделителей жидкости или ап-

паратов, выполняющих их функцию, а нагнетательные — в сторону конденсатора.

На трубопроводах должна быть запорная арматура, обеспечивающая отключение каждого компрессорного и насосного агрегата, а также другого оборудования. Для уменьшения вибрации трубопроводов, вызванной работой компрессорных агрегатов, они должны иметь минимальное количество отводов.

Трубопроводы должны обеспечивать возможность быстрого удаления жидкого хладагента из аппаратов, его содержащих, через дренажный отвод в дренажный или другой ресивер, а также парообразного хладагента из любого элемента установки. Трубопроводы располагают с уклоном, обеспечивающим их опорожнение в аппараты, значение которого для трубопровода не менее: 0,002 для жидкостного; 0,003 для парового и 0,02 для масляного, рассольного, водяного.

Межцеховые аммиачные трубопроводы прокладывают по территории на опорах высотой, обеспечивающей движение транспорта вдоль проездов со стороны, противоположной устройству тротуаров.

Расчет трубопроводов. При проектировании трубопроводов приходится определять их размеры, т. е. длину, диаметр и толщину стенки трубы. Длину трубопровода находят по чертежу или по месту его установки, в зависимости от взаимного расположения элементов установки и от условий монтажа.

При подборе трубопровода или при расчете короткого трубопровода, когда можно пренебречь падением в нем давления, внутренний диаметр трубы $d_{\text{вн}}$ (м) для хладагента или других веществ может быть определен по рекомендуемой скорости движения w этой среды в трубе исходя из уравнения неразрывности потока, по которому максимальный объемный расход вещества, протекающего по трубе, $V = \pi d_{\text{вн}}^2 w / 4$, откуда

$$d_{\text{вн}} = \sqrt{4V/(\pi w)}. \quad (13.1)$$

В практике проектирования трубопроводов холодильных установок обычно принимаются значения скорости для различных веществ, приведенные в табл. 13.1.

Полученный расчетом внутренний диаметр трубы округляют до ближайшего стандартного размера. Уточнение расчета диаметра трубопровода осуществляется по численному значению падения давления в трубопроводе, из условия чтобы оно не превышало допустимого.

Падение давления в трубопроводе Δp при движении в нем какой-либо среды складывается из потерь на трение по длине трубы а также из потерь давления на преодоление местных сопротивлений, т. е. падение

Таблица 3.1

Вещество	Скорость, м/с	
	на стороне всасывания	на стороне нагнетания
Парообразный аммиак	10–25	15–30
ГХФУ, ГФУ	8–15	10–18
Жидкий хладагент	0,15–0,5	0,5–1,25
Хладагент и вода	0,5–10	0,8–1,3

давления, обусловленное трением в трубах,

$$\Delta p = (\lambda_{\text{тр}} l w^2 \rho) / (2d_{\text{вн}}) + \sum \zeta \rho w^2 / 2, \quad (13.2)$$

где $\lambda_{\text{тр}}$ — коэффициент сопротивления трения по длине трубы; l — длина трубопровода, м; ρ — плотность вещества, кг/м³; ζ — коэффициент местного сопротивления.

Падение давления в трубах можно определить по другой формуле, используя эквивалентную длину трубы l_3

$$\Delta p = [(l + \sum l_3) \lambda_{\text{тр}} w^2 \rho] / (2d_{\text{вн}}). \quad (13.3)$$

Так как эквивалентная длина прямо пропорциональна диаметру трубы, то выражение для l_3 можно представить в виде $l_3 = A d_{\text{вн}}$. Значения коэффициента A даются в справочной литературе.

Потери давления, принимаемые в качестве допустимых при расчете трубопроводов для хладагентов и хладоносителей, зависят от назначения трубопровода.

Во всасывающем трубопроводе между испарителем и компрессором допускается падение давления, которому соответствует понижение температуры насыщения пара до 1 К для аммиачных и пропановых установок и до 2 К для установок на ГХФУ и ГФУ.

Выражение падения давления соответственным понижением значения температуры насыщенного пара позволяет сохранить единое значение норматива для широкого интервала режима работы холодильной установки, так как энергетические затраты на работу установки можно считать (с некоторым приближением) находящимися в линейной зависимости от температуры кипения.

В нагнетательном трубопроводе между компрессором и конденсатором допускается падение давления, по абсолютному значению соответствующее изменению температуры насыщенного пара до 0,5 К (что увеличивает расход энергии примерно на 1%) для аммиачных и пропановых установок и до 1 К для установок на ГХФУ и ГФУ.

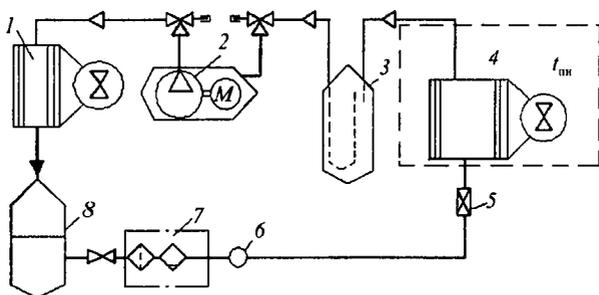


Рис. 13.2. Схема торговой холодильной установки с одним охлаждаемым объектом:

1 — конденсатор воздушного охлаждения; 2 — герметичный компрессор; 3 — отделитель жидкости; 4 — воздухоохладитель; 5 — терморегулирующий вентиль; 6 — смотровое стекло; 7 — фильтр-осушитель; 8 — линейный ресивер

Для расчета диаметра жидкостного трубопровода норма может быть задана только в единицах давления.

Существует большое число схем, отличающихся числом температур кипения, ступеней сжатия и дросселирования хладагента, типом и числом применяемого оборудования и др.

Рассмотрим некоторые типовые схемы холодильных установок (систем).

13.2.1 Схемы торговых холодильных установок

Торговые холодильные установки создают на базе агрегатированного оборудования из 1–2 блоков. Существуют различные компрессорные агрегаты, отличающиеся видом (герметичный, бессальниковый) и типом (поршневой, спиральный, винтовой) компрессора, их числом, а также диапазоном поддерживаемых температур кипения и видом хладагента (R22, R134a, R404A, R507, R600a, R717, R744).

Кроме того, в состав агрегата обычно входят конденсатор воздушного охлаждения, линейный ресивер, отделитель жидкости, дроссель (капиллярная трубка или терморегулирующий вентиль), запорная и регулирующая арматура и приборы автоматики.

Холодильные установки небольших предприятий обычно состоят из нескольких агрегатов, каждый из которых поддерживает заданную температуру в одном охлаждаемом объекте (прилавке, витрине, шкафу, камере). Типичная схема компрессорного агрегата, охлаждающего камеру, представлена на рис. 13.2.

Герметичный компрессор 2 нагнетает пар хладагента в конденсатор 1, охлаждаемый воздухом. Жидкий хладагент из конденсатора 1 посту-

пает в линейный ресивер 8, проходит фильтр-осушитель 7, в котором очищается от механических загрязнений, кислоты и влаги, смотровое стекло 6 с индикатором влажности. Затем он дросселируется в терморегулирующем вентиле 5 и поступает в воздухоохладитель 4, где жидкий хладагент кипит, охлаждая воздух в камере. Пар хладагента из воздухоохладителя через отделитель жидкости 3, где капли жидкости отделяются от пара и оседают, всасывается компрессором 2.

Холодильные установки супермаркетов состоят из относительно крупных компрессорных агрегатов, отдельно расположенных конденсаторов (водяных, испарительных, воздушных), а также могут содержать бак для получения теплой воды для санитарных и бытовых целей. Компрессорный агрегат поддерживает заданную температуру в нескольких объектах (прилавке, витрине, камере).

Схема, включающая компрессорные агрегаты фирмы «Linde», торговое холодильное оборудование, бак для получения теплой воды и вынесенные за пределы машинного отделения конденсаторы воздушного и испарительного охлаждения, представлена на рис. 6.1.

Компрессорный одно- или двухступенчатый агрегат включает несколько (3–6 единиц) бессальниковых или герметичных компрессоров (поршневых, винтовых, спиральных), теплообменные и емкостные аппараты, арматуру, щит системы автоматизации на базе микрокомпьютера, которые закреплены на одной установочной раме.

Агрегаты работают на различных хладагентах (R22, R134a, R404A, R717, R744) и поддерживают разные температуры кипения. Оттаивание воздухоохладителей обычно производят горячим паром хладагента.

Принципиальная схема типовой среднетемпературной холодильной установки на R404A показана на рис. 13.3.

Бессальниковый компрессор 3 подает пар хладагента через обратный клапан 2 в магистральный (общий для всех компрессоров) нагнетательный трубопровод, по которому пар поступает в конденсатор воздушного охлаждения 1. Жидкий хладагент из конденсатора 1 поступает в линейный ресивер 4, из которого он, проходя через фильтр-осушитель 5, индикатор влажности со смотровым стеклом 6 и теплообменник 7, направляется в охлаждающие устройства объектов. Часть этого хладагента отводится от магистрального (общего для всех компрессоров) трубопровода, проходит через соленоидный вентиль 18, терморегулирующий вентиль 17 и обратный клапан 16, поступает в воздухоохладитель 14, где кипит, охлаждая воздух. Образовавшийся пар проходит через соленоидный вентиль 12 и поступает в магистральный (общий для всех компрессоров) всасывающий трубопровод. Далее пар проходит отделитель жидкости 11, теплообменник 7 и направляется в компрессоры.

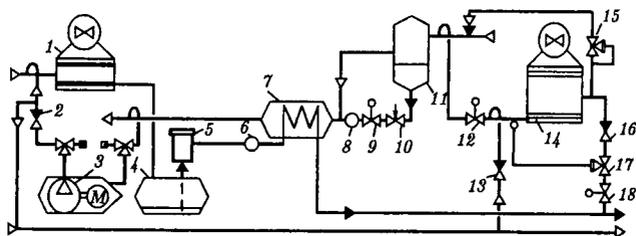


Рис. 13.3. Схема части торговой холодильной установки с несколькими охлаждаемыми объектами:

1 — конденсатор воздушного охлаждения; 2 — обратный клапан; 3 — бессальниковый компрессор; 4 — линейный ресивер; 5 — фильтр-осушитель; 6 — смотровое стекло; 7 — теплообменник; 8 — соленоидный вентиль; 9 — вентиль; 10 — отделитель жидкости; 11 — терморегулирующий вентиль; 12 — воздухоохладитель; 13 — соленоидный вентиль; 14 — воздухоохладитель; 15 — регулятор давления; 16 — обратный клапан; 17 — терморегулирующий вентиль; 18 — соленоидный вентиль

Обратный клапан 2 предотвращает поступление хладагента из нагнетательного трубопровода при остановке и аварийной разгерметизации компрессора 3. Фильтр-осушитель 5 очищает хладагент от механических загрязнений, влаги и кислоты. Индикатор влажности со смотровым стеклом 6 позволяет контролировать содержание влаги в хладагенте и проток жидкого хладагента. Терморегулирующий вентиль 17 регулирует подачу жидкого хладагента в воздухоохладитель 14. Соленоидный вентиль 18 предназначен для прекращения подачи жидкого хладагента из магистрального трубопровода при неработающем компрессоре 3 — он закрывается при остановке компрессора и включается при его пуске.

Для проведения процесса оттаивания предусматривают оттаивательные локальные и магистральный трубопроводы, а также арматуру и приборы автоматики.

При оттаивании охлаждаемый объект переключают с режима охлаждения на режим оттаивания, закрыв соленоидные вентили на всасывающем 12 и жидкостном 18 трубопроводах и открыв соленоидный вентиль 13 на оттаивательном трубопроводе. В результате этих переключений горячий пар хладагента поступает в воздухоохладитель 14, конденсируется на холодной поверхности труб при относительно высоком давлении хладагента, нагревая трубы и плавя иней на их внешней поверхности. Конденсат и пар хладагента отводятся из воздухоохладителя по вспомогательному трубопроводу через регулятор давления 15, который поддерживает заданное значение давления конденсации. Затем

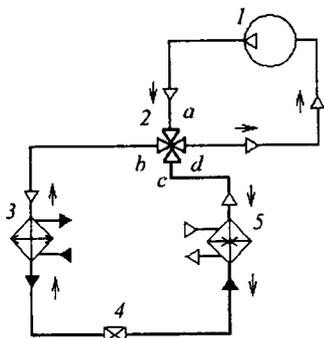


Рис. 13.4. Схема торговой холодильной установки с одним охлаждаемым объектом и реверсивным режимом: 1 — компрессор; 2 — четырехходовой вентиль; 3 — конденсатор (охладитель); 4 — регулирующий вентиль; 5 — испаритель (нагреватель)

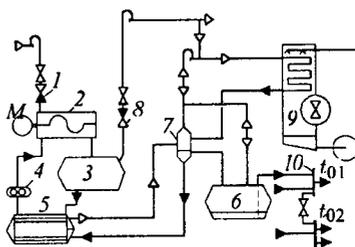


Рис. 13.5. Схема с одноступенчатым винтовым компрессорным агрегатом: 1, 8 — обратные клапаны; 2 — компрессор; 3 — маслоотделитель; 4 — шестеренчатый насос; 5 — маслоохладитель; 6 — линейный ресивер; 7 — сосуд; 9 — испарительный конденсатор; 10 — распределительный коллектор регулирующей станции

двухфазный поток поступает в магистральный всасывающий трубопровод и проходит через отделитель жидкости 11, где жидкость отделяется от пара, в теплообменник 7, в котором испаряются мелкие капли жидкости, миновавшие отделитель жидкости. Далее пар всасывается компрессорами. Жидкий хладагент, оседающий в отделителе жидкости, отводится во всасывающий трубопровод через вентиль 10, позволяющий изменять массовый расход жидкости, соленоидный вентиль 9, который открыт при работающих компрессорах, и смотровое стекло 8, позволяющее контролировать проток жидкости и правильность настройки вентилей 10. После оттаивания воздухоохладителей объект переключают на режим охлаждения.

Схема торговой холодильной установки с одним охлаждаемым объектом и реверсивным режимом. Введение в состав установки четырехходового вентиля позволяет ей работать в режиме теплового насоса с целью оттаивания испарителя наиболее экономичным способом или обогрева объекта (рис. 13.4).

В режиме охлаждения компрессор 1 нагнетает хладагент через четырехходовой вентиль 2 (через штуцера *a* и *b*) в конденсатор 3. Жидкий хладагент из конденсатора 3, дросселируясь в регулирующем вентиле 4, поступает в испаритель 5, где кипит охлаждая объект. Пар хладагента

отводится из испарителя 5 через четырехходовой вентиль 2 (через штуцера *c* и *d*) в компрессор 1.

При работе в режиме теплового насоса (направление движения хладагента показано стрелками рядом с линиями) компрессор 1 нагнетает горячий пар через вентиль 2 в нагреватель 5. Затем хладагент дросселируется в вентиле 4, охлаждается в охладителе 3, проходит вентиль 2 и всасывается компрессором 1.

13.2.2 Схемы промышленных холодильных установок

Промышленные холодильные установки имеют сложную структуру, представлять которую в виде единой схемы при ее изучении нецелесообразно, так как это затрудняет восприятие. Поэтому холодильные установки представляются в виде отдельных блоков, содержащих функционально взаимосвязанные элементы.

Схема с одноступенчатыми компрессорами. В промышленных холодильных установках обычно используют винтовые компрессорные агрегаты, схема с таким компрессорным агрегатом показана на рис. 13.5.

Компрессор 2 всасывает пар из всасывающего магистрального (общего для нескольких компрессоров) трубопровода и нагнетает в маслоотделитель 3, где капли смазочного масла отделяются от пара, затем в нагнетательный коллектор, далее в испарительный конденсатор 9. Жидкий хладагент из конденсатора 9 поступает через сосуд 7 в линейный ресивер 6, а затем на распределительный коллектор регулирующей станции 10, посредством которого жидкий хладагент распределяют по испарительным системам (охлаждаемым объектам). Обратные клапаны 1 и 8 предотвращают поступление пара хладагента из магистральных всасывающего и нагнетательного трубопроводов при аварийной остановке компрессора.

Винтовой компрессорный агрегат имеет индивидуальную смазочную систему, обеспечивающую смазку, охлаждение и герметичность компрессора. Масло из маслоотделителя 3 поступает в маслоохладитель 5, затем в шестеренчатый насос 4, который нагнетает его в компрессор 2. Масло охлаждается жидким хладагентом в маслоотделителе (теплообменнике кожухотрубного типа) 5, поступающим из сосуда 7 под действием статического давления столба жидкости. Образовавшийся пар отводится через сосуд 7 в конденсатор 9.

Схема с двухступенчатыми компрессорными агрегатами. Существует несколько видов двухступенчатых компрессорных агрегатов, один из которых с двумя винтовыми компрессорами и общей смазочной системой, представлен на рис. 13.6.

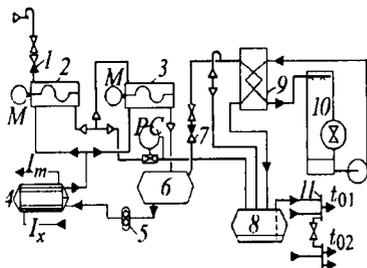


Рис. 13.6. Схема с двухступенчатым компрессорным агрегатом:

1, 7 — обратные клапаны; 2 — компрессор ступени низкого давления; 3 — компрессор ступени высокого давления; 4 — маслоохладитель; 5 — шестеренчатый насос; 6 — маслоотделитель; 8 — линейный ресивер; 9 — пластинчатый конденсатор; 10 — градирня; 11 — распределительный коллектор регулирующей станции

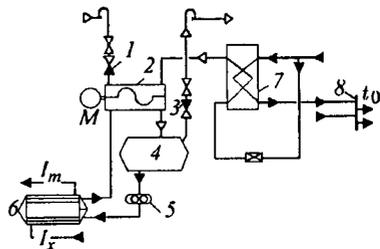


Рис. 13.7. Экономайзерная схема винтового компрессорного агрегата: 1, 3 — обратные клапаны; 2 — винтовой компрессор; 4 — маслоотделитель; 5 — шестеренчатый насос; 6 — маслоохладитель; 7 — экономайзер; 8 — распределительный коллектор регулирующей станции

Компрессор ступени низкого давления 2 нагнетает пар, который охлаждается, смешиваясь с более холодным паром, поступающим из линейного ресивера 8, и всасывается компрессором ступени высокого давления 3. Последний нагнетает пар в маслоотделитель и затем - в пластинчатый конденсатор 9. Жидкий хладагент из конденсатора 9 стекает в линейный ресивер 8, из которого поступает на распределительный коллектор регулирующей станции 11. Масло из маслоотделителя 6 всасывается шестеренчатым насосом 5, который нагнетает его через маслоохладитель 4, охлаждаемый водой, в компрессоры 2 и 3.

Экономайзерная схема винтового компрессорного агрегата. Использование винтового компрессора с каналом для подвода пара хладагента при промежуточном давлении в полость сжатия и экономайзера (сосуда или теплообменника) позволяет осуществлять постоянно или по мере необходимости двухступенчатое сжатие посредством одного компрессора.

Достоинствами такого винтового компрессорного агрегата с экономайзером по сравнению с традиционным двухступенчатым компрессорным агрегатом являются компактность и гибкость работы. Поэтому винтовые компрессорные агрегаты получили широкое распространение. Экономайзерная схема винтового компрессорного агрегата представлена на рис. 13.7.

Компрессор 2 всасывает пар хладагента из магистрального всасывающего трубопровода и нагнетает через маслоотделитель 4 в маги-

стральный нагнетательный трубопровод. При работающем экономайзере 7 жидкий хладагент, поступающий из конденсатора, перед входом в экономайзер разделяется на два потока. Большая часть хладагента поступает в одну полость, а меньшая — в другую, в которой кипит, охлаждая большую часть потока. Пар из экономайзера отводится в компрессор при промежуточном давлении.

Схема конденсаторов и линейного ресивера. Большинство холодильных установок содержит несколько параллельно включенных конденсаторов. Это связано с необходимостью периодически изменять их производительность, отключать отдельные аппараты с целью технического обслуживания и ремонта. Вариант схемы соединения воздушных конденсаторов и линейного ресивера показан на рис. 13.8.

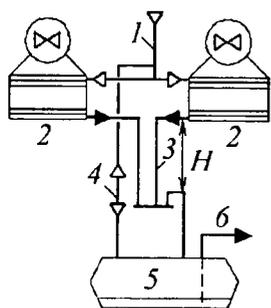


Рис. 13.8. Схема соединения воздушных конденсаторов и линейного ресивера:

1 — нагнетательный трубопровод; 2 — конденсаторы; 3 — сливные трубопроводы; 4 — уравнивательный трубопровод; 5 — линейный ресивер; 6 — жидкостный трубопровод

1 — нагнетательный трубопровод; 2 — конденсаторы; 3 — сливные трубопроводы; 4 — уравнивательный трубопровод; 5 — линейный ресивер; 6 — жидкостный трубопровод

Гидравлический затвор образуется в результате заглубления участка трубы 6, по которой жидкий хладагент подается, например на распределительный коллектор. В-четвертых, он может хранить запас хладагента, для компенсации текущих его потерь.

При параллельной установке нескольких конденсаторов важно обеспечить равенство гидравлических сопротивлений всех конденсаторов с трубопроводами, которые связывают их с коллекторами. Конден-

Пар хладагента из компрессора поступает по нагнетательному трубопроводу 1 в конденсаторы 2. Конденсат по трубопроводу 3 стекает в линейный ресивер 5, из которого по жидкостному трубопроводу 6 направляется в элементы стороны низкого давления.

Линейный ресивер выполняет несколько функций. Во-первых, он является сборником конденсата, благодаря чему жидкость не накапливается в конденсаторе и не затопливает его теплопередающую поверхность. Удаление жидкости из конденсатора обеспечивается тем, что он располагается выше линейного ресивера и их паровые пространства соединены уравнивательным трубопроводом 4. Во-вторых, он компенсирует неравномерность объемной подачи хладагента во времени, связанную с неравномерностью тепловой нагрузки. В-третьих, он создает гидравлический затвор, препятствующий поступлению пара со стороны высокого давления на сторону низкого давления и нарушению режима работы холодильной установки.

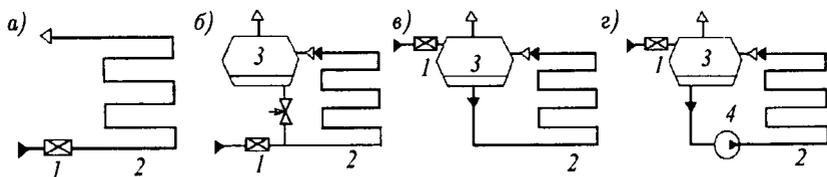


Рис. 13.9. Схемы способов подачи хладагентов в испарители под действием:
а и б — разности давлений конденсации и кипения; *в* — столба жидкости;
г — разности давлений, создаваемых насосом

саторы, имеющие гидравлическое сопротивление меньше максимального, будут заполняться жидкостью на высоту, обеспечивающую равенство с максимальным сопротивлением. Чтобы выровнять гидравлические сопротивления всех конденсаторов, сопротивление каждого аппарата увеличивают, предусматривают на сливных трубопроводах 3 вертикальный участок длиной H и подъем общего трубопровода после коллектора на 0,2 м.

Схемы подачи хладагента в охлаждающие устройства. Подача хладагента в испарители должна быть организована так, чтобы обеспечивались: надлежащая раздача жидкого хладагента по испарителям в соответствии с изменяющейся тепловой нагрузкой на них; малая емкость по хладагенту; эффективная работа охлаждающего устройства; безопасная работа компрессоров.

Схемы подачи хладагента в испаритель зависит от способа подачи хладагента, то есть под действием какой движущей силы подается хладагент в охлаждающие устройства. Есть три способа подачи: под действием разности давлений конденсации и кипения; под напором столба жидкости; под действием разности давлений, создаваемой насосом (рис. 13.9). Первые два способа образуют группу так называемых безнасосных схем, а третий — группу насосных схем.

Первый из этих способов появился раньше других, он, как правило, имеет наибольший потенциал и является естественным, так как разность давлений конденсации и кипения все равно должна быть потеряна на пути движения хладагента к испарителю.

На рис. 13.9,*а* показана схема подачи жидкого хладагента этим способом. Жидкий хладагент поступает из линейного ресивера к регулирующему вентилю 1, посредством которого подается необходимое его количество в охлаждающее устройство 2. Перегретый пар, образующийся при кипении хладагента, отводится по всасывающему трубопроводу в компрессор.

Необходимая массовая подача жидкого хладагента зависит от тепловой нагрузки на охлаждающее устройство Q_T и удельной массовой хо-

лодопроизводительности хладагента q_0 : $m_x = Q_T/q_0$. Так как тепловая нагрузка непостоянна во времени, то приходится соответственно варьировать подачу хладагента путем изменения степени открытия регулирующего вентиля.

Признаком того, что подается требуемое количество хладагента является постоянный перегрев пара хладагента, выходящего из охлаждающего устройства. В рассматриваемом варианте выход жидкости из охлаждающего устройства может представлять опасность для компрессора, если она поступит в полость сжатия. Жидкость несжимаема и произойдет «гидравлический удар», приводящий к отказу компрессора.

Количественным показателем работы схемы является кратность циркуляции хладагента в охлаждающих устройствах n , представляющая собой отношение массовой подачи жидкого хладагента $m_{ж.х}$ к массовому потоку пара $m_{п.х}$, образующегося вследствие теплопритока за тот же промежуток времени

$$n = m_{ж.х}/m_{п.х}.$$

Следовательно, особенностью первого способа подачи хладагента в испаритель является обеспечение условия $n \leq 1$. Тепловая нагрузка часто изменяется, кроме того, число охлаждающих устройств может быть значительным. Вследствие этого при ручном регулировании обеспечить это условие чрезвычайно трудно. Поэтому обычно применяют автоматические регуляторы подачи хладагента, так называемые терморегулирующие вентили (ТРВ).

Низкая кратность циркуляции $n \leq 1$ приводит к значительному снижению коэффициента теплопередачи испарителя, так как часть теплопередающей поверхности не смачивается кипящим хладагентом и омывается только перегретым паром.

Эффективность работы охлаждающих устройств можно несколько повысить, если ввести в схему сосуд, называемый отделителем жидкости, который защищает компрессор от гидравлического удара. Такой вариант показан на рис. 13.9,б. Жидкий хладагент под давлением конденсации, поступающий из линейного ресивера, дросселируется в регулирующем вентиле 1 до давления кипения и, инжестируя жидкость из отделителя жидкости 3, входит в испаритель 2 с кратностью $n > 1$. Влажный пар поступает в отделитель жидкости 3, где скорость его движения снижается до значения, при котором капли жидкости отделяются от пара и накапливаются в нижней части сосуда. Сухой пар из сосуда всасывается компрессором. И в этом варианте существует необходимость дозированной подачи хладагента, так как кратность циркуляции незначительна

$n \leq 1,3$. При большем значении возникает проблема с отводом жидкости из сосуда \mathcal{Z} , а его переполнение недопустимо.

Третий вариант схемы выполнен так (рис. 13.9,в), что жидкий хладагент под давлением конденсации, поступающий из линейного ресивера, дросселируется в регулирующем вентиле 1 до давления кипения и входит в отделитель жидкости \mathcal{Z} , где фазы разделяются: пар отводится в компрессор, а жидкость накапливается в нижней части сосуда. Отделитель жидкости располагается выше испарителя 2 , поэтому жидкий хладагент под действием статического давления столба жидкости подается в охлаждающее устройство 2 с кратностью циркуляции $n > 1,3$. Влажный пар из охлаждающего устройства поступает в отделитель жидкости, где фазы разделяются. Сухой пар по всасывающему трубопроводу поступает в компрессор.

В этом варианте схемы появились следующие достоинства. Отпала необходимость точного дозирования подачи жидкого хладагента из линейного ресивера. Повысилась эффективность работы испарителя. Неиспарившаяся жидкость (назовем ее вторичной) циркулирует через охлаждающее устройство, давая полезный эффект. Однако кратность циркуляции возрастает незначительно, так как зависит от значения столба жидкости, которое влияет и на температуру кипения хладагента. Регулирующим вентилем можно воздействовать только на подачу жидкости из линейного ресивера, а подача вторичной жидкости оказывается неуправляемой.

Практика показала, что безнасосные схемы целесообразны для холодильных установок относительно небольшой производительности с небольшим числом охлаждаемых объектов. Для крупных холодильных установок и установок с низкими температурами кипения в большинстве случаев используют насосные схемы.

На рис. 13.9,г показана схема насосного способа подачи. Жидкий хладагент из линейного ресивера дросселируется в регулирующем вентиле 1 от давления конденсации до давления кипения и поступает в сосуд \mathcal{Z} , называемый циркуляционным ресивером, который выполняет функции отделителя и накопителя жидкости. Жидкий хладагент забирается насосом 4 из ресивера и нагнетается в испаритель 2 с большой кратностью циркуляции. Пар и неиспарившаяся жидкость из охлаждающего устройства поступают в ресивер, где фазы разделяются. Сухой насыщенный пар из ресивера по всасывающему трубопроводу отводится в компрессор.

Насосная схема имеет значительные преимущества перед другими:

— лучше распределяется жидкий хладагент по параллельным испарителям вследствие высокой кратности циркуляции хладагента;

- интенсивней теплопередача в испарителях;
- постоянство объемной подачи хладагента;
- малый перегрев пара, всасываемого в компрессор;
- меньше потери жидкого хладагента в жидкостном трубопроводе, вследствие переохлаждения жидкого хладагента.

Однако насосная схема требует дополнительных затрат на насос, тепловую изоляцию, трубы большего диаметра, ресивер большой емкости и электроэнергию.

Схемы подачи жидкого хладагента различают также по направлению движения жидкости в испарителе. Схемы могут быть с нижней подачей (рис. 13.10,а) и с верхней подачей (рис. 13.10,б), при которой жидкий хладагент поступает в испаритель сверху, а образовавшийся пар отводится снизу.

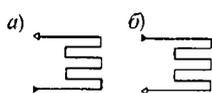


Рис. 13.10. Схемы нижней (а) и верхней (б) подачи хладагента в испарители

Преимущества схемы с нижней подачей: большая интенсивность теплопередач; равномерней распределение хладагента по параллельно включенным испарителям. Преимущества схемы с верхней подачей: меньше заправка хладагентом; меньше тепловая инерционность; отсутствие столба жидкости, влияющего на температуру кипения.

Схема комбинированной установки с режимом охлаждения и обогрева. Такие установки стали применяться сравнительно недавно. Работа их эффективна, так как они работает одновременно в режиме охлаждения одного объекта и обогрева другого, например пола под холодильником. Схема комбинированной установки с режимом показана на рис. 13.11.

В режиме обогрева установка работает так. Часть горячего пара, нагнетаемого холодильным компрессором 1, поступает теплообменным аппаратом 5. Пар из него всасывается компрессором 10 и нагнетается в конденсатор 11. Конденсат поступает в ресивере 12, а затем часть потока через вентили соленоидный 9 и регулирующий 8 — в холодильный контур (в конденсатор 4) и другая часть потока через вентили соленоидный 7 и регулирующий 6 в аппарат 5.

13.3 Схемы холодильных установок косвенного охлаждения

В развитых странах все больше внимания уделяется защите окружающей среды. Появились международные и государственные нормативные документы, регламентирующие работу холодильных установок в

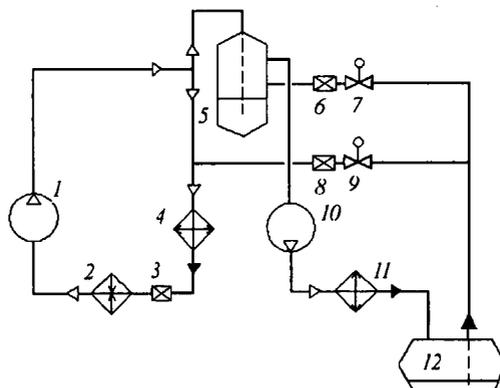


Рис. 13.11. Схема комбинированной установки:

1 — холодильный компрессор; 2 — испаритель; 3 — регулирующий вентиль; 4 — холодильный конденсатор; 5 — теплообменник; 6, 7, 8, 9 — регулирующие вентили; 10 — теплонасосный компрессор; 11 — теплонасосный конденсатор; 12 — теплонасосный ресивер

этой области, в частности, в отношении потери хладагентов в атмосферу. В связи с этим повысился интерес к холодильным установкам косвенного охлаждения. Появились новые варианты установок, в том числе и торговых.

13.3.1 Хладоносители

Хладоноситель — это жидкость, переносящая теплоту от охлаждаемого объекта к испарителю холодильной машины. Эта жидкость может быть чистым веществом, смесью чистых веществ, раствором или суспензией льда. Раньше хладоноситель называли рассолом по виду наиболее распространенных жидкостей — водных растворов солей (рассолов). В настоящее время это название устарело, поскольку в качестве хладоносителей рассолы используются нечасто.

При выборе хладоносителя учитывают их физико-химические, термодинамические и эксплуатационные свойства, а также экономическую целесообразность их применения. К основным свойствам хладоносителей можно отнести температуру замерзания, вязкость, теплопроводность, удельную теплоемкость, плотность. Кроме того, хладоносители должны быть химически инертны, невзрывоопасны, негорючи и нетоксичны. Свойства растворов зависят от массовой доли вещества в растворе. Например, температура замерзания раствора понижается с увеличением массовой доли вещества до самого низкого значения так называемой криогидратной или эвтектической точки, а при последующем

Таблица 3.2

Вещество	Температура замерзания, °С	Массовая доля, %
NaCl	-21,2	23,1
CaCl ₂	-55,0	29,9
Этиленгликоль	-48,3	60
Пропиленгликоль	-51,1	60
Полидиметилсилоксан	-111	100
Этанол	-118	93,5
Формиат калия	-70	48

увеличении массовой доли вещества температура замерзания увеличивается.

Температура замерзания должна быть ниже температуры кипения хладагента минимум на 8 К, что требуют правила безопасности. Высокое значение удельной теплоемкости способствуют уменьшению массовой подачи хладоносителя. Низкие значения вязкости и плотности способствуют снижению гидравлического сопротивления движению хладоносителя. Высокое значение теплопроводности и низкое значение вязкости способствуют увеличению теплоотдачи.

Например, если хладоноситель не охлаждается ниже 0,5 °С, то в качестве хладоносителя можно применять воду, имеющую высокие значения удельной теплоемкости и теплопроводности, относительно небольшую вязкость и низкую цену. Для более низких температур используют другие хладоносители, некоторые свойства которых представлены в табл. 13.2.

Водные растворы NaCl и CaCl₂ имеют высокие значения удельной теплоемкости, вязкости и очень коррозионно активны.

Водный раствор этиленгликоля имеет относительно невысокую вязкость (ниже чем у пропиленгликоля и этанола), низкие теплоемкость (больше чем у пропиленгликоля) и теплопроводность. Он ядовит и коррозионно активен, но в меньшей степени, чем водные растворы солей NaCl и CaCl₂.

Водный раствор пропиленгликоля имеет теплоемкость выше чем у этиленгликоля, вязкость в 2–4 раза выше, чем у этиленгликоля и этанола. Коррозионная активность небольшая. Он нетоксичен и допущен Минздравом РФ к использованию в помещениях, где возможен контакт с пищевыми продуктами.

Полидиметилсилоксан полимер на основе кремния с рабочим диапазоном от -73 до 260 °С. Он характеризуется низкими значениями вязкости (на порядок меньше водных растворов солей), теплопроводности и удельной теплоемкости (в 2–3 раза меньше других хладоносителей), небольшой токсичностью и слабой коррозионной активностью.

Водный раствор этанола имеет высокую удельную теплоемкость (больше, чем у пропиленгликоля), низкую вязкость (ниже чем у воды и этиленгликоля).

Водный раствор формиата калия (соли муравьиной кислоты) новый хладоноситель, имеющий в целом лучшие физико-химические и термодинамические свойства среди хладоносителей. Он химически инертен, нетоксичен, со слабой коррозионной активностью.

В последние годы находят применение суспензии водного льда размером 0,1–0,5 мм в качестве хладоносителей. Суспензии водного льда транспортируются, хранятся и используются в диапазоне от -2 до -40 °С как жидкость. Преимущества этих суспензий состоят в том, что они имеют высокую удельную аккумулирующую холод величину (кДж/кг), в 4–5 раз больше, чем вода, и меньше вязкость.

Перспективным хладоносителем является жидкий диоксид углерода (CO_2), который характеризуется небольшой вязкостью, значительной теплопроводностью, высокими эксплуатационными свойствами. Его основной недостаток — высокое рабочее давление. Кроме того, CO_2 можно использовать как вторичный хладагент. Так называют вещество, изменяющее свое фазовое состояние при переносе теплоты от охлаждаемого объекта к конденсатору-испарителю при одинаковой температуре кипения и конденсации, т. е. жидкость обычно частично выкипает в охлаждающем устройстве, а пар конденсируется в конденсаторе, охлаждаемом как правило кипящим хладагентом.

13.3.2 Схемы холодильных установок косвенного охлаждения

Схема торговой холодильной установки косвенного охлаждения. Определенный интерес представляет холодильная установка крупного супермаркета, включающая три обособленных циркуляционных контура: высокотемпературный хладагент с испарителем для охлаждения хладоносителя и низкотемпературный с конденсатором, охлаждаемым хладоносителем (рис. 13.12).

Высокотемпературный контур предназначен для охлаждения хладоносителя в испарителе 4, из которого насос 5 подает хладоноситель в высокотемпературные охлаждаемые объекты 6 (камера, витрина и др.) и конденсатор низкотемпературного контура 7, в котором конденсируется хладагент, нагнетаемый компрессором 8. Конденсат дросселируется в

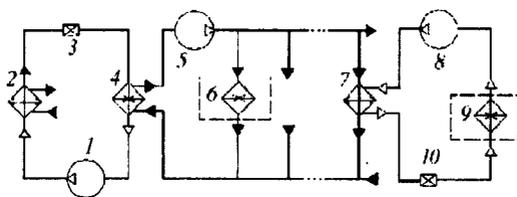


Рис. 13.12. Схема торговой холодильной установки косвенного охлаждения:

1 — высокотемпературный компрессор; 2 — конденсатор; 3, 10 — регулирующие вентили; 4 — испаритель для охлаждения хладоносителя; 5 — насос; 6 — испаритель; 7 — конденсатор низкотемпературного контура; 8 — низкотемпературный компрессор; 9 — низкотемпературный испаритель

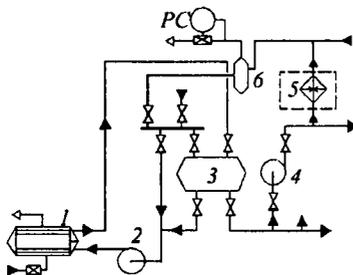


Рис. 13.13. Схема части промышленной холодильной установки косвенного охлаждения с двумя циркуляционными контурами:

1 — испаритель; 2 — центробежный насос испарителя; 3 — аккумулятор хладоносителя; 4 — центробежный насос охлаждаемых объектов; 5 — охлаждаемый объект; 6 — аппарат для выпуска воздуха и расширения хладоносителя

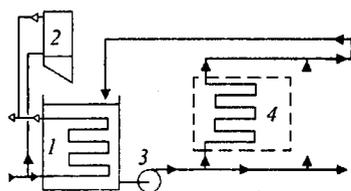


Рис. 13.14. Схема части холодильной установки косвенного охлаждения посредством суспензии водного льда:

1 — испаритель; 2 — льдогенератор; 3 — центробежный насос; 4 — охлаждаемый объект

регулирующем вентиле 10 и поступает в низкотемпературные охлаждаемые объекты 9 (шкаф, прилавок и др.). Образовавшийся в испарителе 9 пар всасывается компрессором 8.

Схема промышленной холодильной установки косвенного охлаждения. Эти схемы разнообразны и отличаются структурой и типом оборудования. Современный вариант схемы холодильной установки косвенного охлаждения с двумя циркуляционными контурами показан на рис. 13.13.

Наличие двух циркуляционных контуров позволяет исключить влияние изменяющейся тепловой нагрузки в охлаждаемых объектах на режим работы испарителя. Центробежный насос 2 отводит более теплый

хладоноситель из аккумулятора хладоносителя 3 и подает его в испаритель 1. Охлажденный хладоноситель поступает в аккумулятор 3, откуда центробежный насос 4 забирает и нагнетает его в охлаждаемые объекты 5, из которых хладоноситель возвращается в аккумулятор 3. Аппарат (герметичный сосуд) 6 обеспечивает отделение и удаление воздуха из системы, а также расширение хладоносителя.

Схема холодильной установки косвенного охлаждения посредством суспензии водного льда.

В последние годы стали применять двухфазные смеси типа водный раствор вещества — лед (суспензия водного льда) в качестве хладоносителя. Суспензия водного льда размером 0,1–0,5 мм с массовой долей до 20% транспортируется, хранится и используется в диапазоне до -40°C как обычный жидкий хладоноситель. Наличие мелкодисперсного льда существенно изменяет свойства хладоносителя: увеличивается удельная холодопроизводительность, например, по сравнению с водой в 4–6 раз в зависимости от массовой доли льда, уменьшается трение, увеличивается теплопередача, в результате чего уменьшаются объемная подача, площадь теплопередающей поверхности, диаметр трубопроводов.

Возможны различные варианты схем, в том числе и традиционно используемые с однофазным хладоносителем. Вариант схемы, используемой при относительно постоянной тепловой нагрузке, показан на рис. 13.14.

В испаритель 1 из льдогенератора 2 поступает мелкодисперсный лед. Суспензия водного льда из испарителя забирается центробежным насосом 3 и подается в охлаждаемые объекты 4, оборудованные традиционными охлаждающими устройствами. Из охлаждаемых объектов хладоноситель возвращается в испаритель.

Схема холодильной установки косвенного охлаждения с аккумуляцией холода. Для охлаждения объектов, работающих в условиях неравномерных суточных тепловых нагрузок с пиковыми значениями и (или) разных суточных тарифов на электроэнергию, применяют холодильные установки с аккумуляцией холода, что позволяет сократить

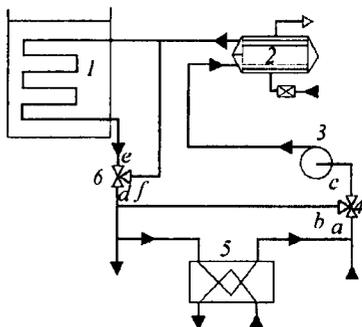


Рис. 13.15. Схема части холодильной установки с аккумуляцией холода с помощью льда:

- 1 — бак-аккумулятор; 2 — испаритель;
- 3 — насос; 4, 6 — трехходовые вентили;
- 5 — охлаждаемые объекты

затраты. Аккумуляция холода обычно производится путем накопления льда в баке-аккумуляторе (открытом испарителе) или переохлаждения (на 5–8 К) хладоносителя по отношению к нормативному значению.

На рис. 13.15 показан вариант схемы с аккумуляцией холода с помощью льда, отличающийся гибкостью в работе. Предусмотрено несколько режимов работы установки, например, намораживание льда в баке-аккумуляторе; охлаждение объекта с помощью аккумулялированного льда и испарителя.

При работе в режиме намораживания льда насос 3 подает хладоноситель в испаритель 2, бак-аккумулятор 1 и через штуцера *e* и *d* вентиля 6, штуцера *b* и *c* вентиля 4 всасывает его.

В режиме охлаждения объекта с помощью льда и испарителя насос 3 подает хладоноситель в испаритель 2, бак аккумулятор 1, далее через штуцера *e* и *d* вентиля 6 хладоноситель поступает в охлаждаемые объекты 5, из которого через штуцера *a* и *c* вентиля 4 он отводится насосом 3.

ПОДБОР И РАЗМЕЩЕНИЕ ХОЛОДИЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Подбор и размещение холодильного оборудования определяется множеством факторов: организацией технологического процесса пищевого предприятия, местом расположения предприятия, конструктивными особенностями холодильного технологического оборудования, финансовыми возможностями предприятия, наличием и допусаемым расходом воды, требованиями контролирующих организаций (Госгортехнадзор, МЧС, Государственная противопожарная служба, Госсанэпиднадзор, Госкомприрода и др.).

14.1 Подбор компрессорных агрегатов

Компрессорные агрегаты подбирают по значению требуемой расчетной производительности с учетом целевого назначения, расчетного режима работы и функциональной схемы холодильной установки.

Тепловая нагрузка на пищевых производствах изменяется на протяжении года от максимальной в летний период до минимальной в зимний период (рис. 14.1,а). На ряде производств (молочном, пивном) тепловая нагрузка носит резкопеременный (пиковый) характер, изменяясь за сутки в несколько раз (рис. 14.1,б). На выбор расчетной величины теплопритока влияют, кроме отмеченного, число потребителей холода с различными температурными режимами и требованиями к способам охлаждения; продолжительность пикового теплопритока и его величина; возможность комплектации холодильной установки однотипным оборудованием; целесообразность аккумуляирования холода. Исходя из сказанного, в качестве расчетного теплопритока может быть принят максимальный $Q_T = Q_{\text{макс}}$, среднесуточный $Q_T = Q_i \Delta \tau_i / 24$ или средний за определенный период времени $Q_T = Q_i \Delta \tau_i / \Delta \tau_p$ (когда большую часть суток холодильное оборудование не требуется). Принятая величина теплопритока увеличивается в 1,07–1,2 раза, учитывая непроизводительные потери холода на его пути к потребителю.

Производительность компрессорных агрегатов обычно выражают в тепловых (холодопроизводительность) или объемных (теоретическая объемная подача) единицах. Расчетную холодопроизводительность компрессорных агрегатов $Q_{o,p}$ определяют по формуле

$$Q_{o,p} = a_{пт} Q_T, \quad (14.1)$$

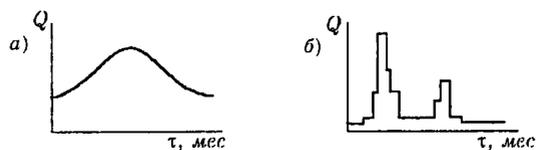


Рис. 14.1. Графики теплопритоков: а — переменный; б — пиковый

где Q_{τ} — тепловая нагрузка на компрессор при заданной температуре кипения; $a_{пт}$ — коэффициент, учитывающий потери, значения которого приведены в табл. 14.1.

Таблица 14.1

Способ охлаждения	Значение $a_{пт}$ при $t_0, ^\circ\text{C}$		
	-10	-30	-40
Непосредственный	1,05	1,07	1,10
Косвенный			
без аккумуляции холода	1,10	1,12	1,17
с аккумуляцией холода	1,20	—	—

Расчетную теоретическую объемную подачу компрессорных агрегатов $V_{т,р}$ находят по зависимости

$$V_{т,р} = Q_{о,р} v_1 / (q_0 \lambda), \quad (14.2)$$

где q_0 — удельная холодопроизводительность хладагента при заданной температуре кипения; v_1 — удельный объем всасываемого в компрессор пара; λ — коэффициент подачи компрессорных агрегатов.

Целевое назначение установки определяет выбор вида хладоснабжения (централизованное, децентрализованное), способа охлаждения (непосредственный, косвенный), типа компрессорного агрегата (поршневой, винтовой, аммиачный, хладоновый, с автоматически изменяемой или неизменяемой производительностью).

Расчетный режим работы холодильной установки (температуры кипения и конденсации хладагента, охлаждающей воды, хладонотителя на выходе из испарителя; давления кипения, конденсации, промежуточные) определяет выбор марки агрегата (высоко-, средне- и низкотемпературный, одно- и двухступенчатый) и вида схемы установки (традиционная, компаундная). Границей применения одноступенчатых агрегатов считают отношение давлений конденсации и кипения $\pi = 5 \div 7$. Компаундную

схему предпочтительней выбирать для условий, при которых требуется компактность и высокий уровень автоматизации и надежности.

Холодопроизводительность компрессорных агрегатов Q_0 зависит от режима их работы, поэтому в справочной литературе приводят графики или таблицы зависимостей холодопроизводительности от температуры кипения и температуры конденсации.

Нужное число компрессорных агрегатов выбирают, руководствуясь значением отношения $0,75 \leq Q_{0,p}/Q_0 \leq 0,92$. Если режимы работы не совпадают, то количество агрегатов выбирают по значению отношения $0,75 \leq V_{т,p}/V_t \leq 0,92$. Теоретическая объемная подача компрессорных агрегатов V_t не зависит от режима работы, она приводится в справочной литературе и в каталогах соответствующих фирм.

Количество агрегатов, выбираемое для каждой температуры кипения, обычно составляет 1–3 единицы. По требованию заказчика может быть предусмотрена установка резервного компрессорного агрегата на каждую температуру или одного на две температуры кипения. Наличие резерва компрессорных агрегатов определяется стоимостью ущерба от потерь продукции при нарушении температурного режима.

Компрессорные агрегаты целесообразно подбирать одного типа, что позволяет снизить расходы на эксплуатацию благодаря однотипности запасных деталей и порядку технического обслуживания.

Предпочтение отдают подбору оборудования более полной заводской готовности, т. е. компрессорно-конденсаторным агрегатам, автоматизированными холодильным машинам, сплит-системам, би-блокам, моноблокам.

Расчеты циклов, подбор компрессоров, компрессорных агрегатов, холодильных машин могут быть выполнены по различным пакетам программ.

Например, по пакету программ, разработанному в Датском техническом университете можно рассчитывать одно и двухступенчатые циклы с различными хладагентами. По программе фирмы «Grasso» производится расчет циклов, выбор винтовых или компрессорных агрегатов.

Использование вычислительных программ позволяет просмотреть большее число вариантов и выбрать наиболее подходящий по техническим и экономическим показателям.

14.2 Подбор теплообменных аппаратов

Тепловой расчет конденсаторов и испарителей заключается в определении значения площади теплопередающей поверхности, обеспечивающей при заданной тепловой нагрузке поддержание требуемого режима

работы. По значению площади теплопередающей поверхности подбирают аппараты, суммарная площадь теплопередающей поверхности которых приблизительно равна расчетной.

Подбор водяных, воздушных и испарительных конденсаторов начинают с определения расчетной площади их теплопередающей поверхности $F_{к,р}$ по уравнению

$$F_{к,р} = Q_{к,р} / (k_k \theta_k) \quad \text{или} \quad F_{к,р} = Q_{к,р} / q_k, \quad (14.3)$$

где $Q_{к,р}$ — расчетная тепловая нагрузка на конденсатор; θ_k — средняя логарифмическая разность температур теплообменивающихся сред; k_k — коэффициент теплопередачи конденсатора; q_k — плотность теплового потока.

Некоторые фирмы (изготовители конденсаторов) дают другой метод, базирующийся на определении теплового потока при номинальном (фиксированном) режиме работы $Q_{к,н} = c Q_{к,р}$, где c — коэффициент, учитывающий режим и условия работы конденсатора.

Подбор конденсаторов в большинстве случаев производится по программам, предлагаемым фирмами, которые производят данное оборудование. Достоинство подобного подбора заключается в том, что учитываются различные условия эксплуатации оборудования, влияние расходов хладагента и хладоносителя на эффективность теплообмена, а также определяются потери давления по движущимся средам. Например, фирма «Alfa-Laval» предлагает проектным организациям пакет программ KAS по подбору любых пластинчатых теплообменников, скомплектованных из пластин, выпускаемых фирмой. Исходными данными служат тепловая нагрузка, вид хладагента, температура нагнетания, температура конденсации, величина переохлаждения жидкого хладагента, величина нагрева воды, допустимая потеря давления по хладагенту и по воде.

Расчетную тепловую нагрузку на конденсатор определяют по формуле

$$Q_{к,р} = m_k (i_1 - i_2) \quad \text{или} \quad Q_{к,р} = \sum Q_{0i} + \sum N_{ej}, \quad (14.4)$$

где m_k — массовая подача хладагента в конденсатор; i_1, i_2 — энтальпия хладагента соответственно на входе и выходе из конденсатора; Q_{0i} — холодопроизводительность i -го компрессора, кВт; N_{ej} — эффективная мощность j -го компрессора, но для винтового маслозаполненного принимают только 50% эффективной мощности или рассчитывают $Q_{к,р} = Q_0 + N_e - Q_m$, где Q_m — тепловая нагрузка маслоохладителя, определяемая по данным соответствующих каталогов.

Число выбираемых конденсаторов определяется несколькими условиями. По условиям бесперебойной работы холодопотребляющего про-

изводства следует подбирать не менее двух аппаратов в сумме составляющих требуемую теплообменную поверхность. По условиям обеспечения эффективности работы конденсаторов необходимо выбирать аппараты одного типа и желательно одной марки. Не рекомендуется устанавливать более восьми испарительных конденсаторов, так как при большем количестве параллельных аппаратов снижается эффективность их работы. Вертикальные кожухотрубные конденсаторы, а также испарительные устанавливаются на открытых площадках, что позволяет снизить затраты на строительство.

Подбор конденсатора воздушного охлаждения проводится, например, по программе, разработанной фирмой «Alfa-Laval».

Подбор испарителей для охлаждения жидких хладоносителей также начинают с определения расчетной площади теплопередающей поверхности

$$F_{н.р} = Q_{н.р}/q_n \quad \text{или} \quad F_{н.р} = Q_{н.р}/(k_n\theta_n), \quad (14.5)$$

где $Q_{н.р}$ — расчетная тепловая нагрузка на испарители, равная $Q_{н.р} = \epsilon Q_T$ (здесь Q_T — тепловая нагрузка на оборудование); k_k — коэффициент теплопередачи испарителя; θ_n — средняя логарифмическая разность температур теплообменивающихся сред; q_n — плотность теплового потока.

Подбор испарителей, как и конденсаторов, может производиться по программам, предлагаемым фирмами. Исходными данными для подбора по пакету программ KAS служат тепловая нагрузка, вид хладагента, температура кипения, температура перегрева, величина переохлаждения жидкого хладагента, вид хладоносителя, концентрация хладоносителя, величина охлаждения хладоносителя, допустимая потеря давления по хладагенту и по хладоносителю.

По значению $F_{н.р}$ выбирают испарители на каждую температуру кипения.

14.3 Подбор батарей и воздухоохладителей

При проектировании охлаждающих систем учитывают следующие требования:

- поддержание заданных технологическими нормами температурно-влажностных параметров в охлаждаемых объектах (помещениях, аппаратах);
- обеспечение равномерности температурного и влажностного полей по всему охлаждаемому объему;
- локализация наружных теплопритоков; обеспечение минимальных энергетических затрат;

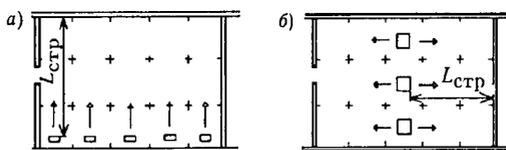


Рис. 14.2. Размещение воздухоохлаждателей: а — с односторонним выходом воздуха; б — с двухсторонним выходом воздуха

- рациональное использование охлаждаемого объема, т. е. минимальные потери полезного объема на размещение системы;
- обеспечение низкой металлоемкости, высокой надежности и безопасности работы системы.

Подбор воздухоохлаждателей начинают с предварительного выбора типа и марки аппарата, руководствуясь его целевым назначением (для охлаждения, замораживания, хранения продукта), планировкой и размерами камеры.

Определяют расчетное значение тепловой нагрузки $Q_{\text{во.р}} = 1,2Q_{\text{об}}$, а затем расчетное значение площади теплопередающей поверхности воздухоохлаждателей

$$F_{\text{во.р}} = Q_{\text{во.р}} / (k_{\text{во}} \theta_{\text{во}}), \quad (14.6)$$

где $Q_{\text{во.р}}$ — расчетная тепловая нагрузка на воздухоохлаждатели; $k_{\text{во}}$ — коэффициент теплопередачи; $\theta_{\text{во}}$ — разность температур теплообменивающихся сред.

Необходимое число воздухоохлаждателей принимают из условия создания равномерного температурного и скоростного полей воздуха в холодильной камере. Один воздухоохлаждатель способен обслуживать зону камеры по ширине около 6 м, а дальность струи воздуха, выходящего из аппарата, $L_{\text{стр}}$ может быть определена по формуле

$$L_{\text{стр}} = 4,6\sqrt{(hB_3)}, \quad (14.7)$$

где h — расстояние между верхом штабеля и потолком камеры, м; B_3 — ширина зоны, обслуживаемой одним воздухоохлаждателем, м.

На рис. 14.2 показано два варианта размещения подвесных воздухоохлаждателей.

Возможна реализация канального воздухораспределения, когда воздух от воздухоохлаждателя 1 подается в камеру по воздуховоду 2, из щелей которого происходит равномерная раздача воздуха по всему объему (рис. 14.3). Равномерность распределения воздуха по объему камеры можно обеспечить при выполнении двух условий: сечение канала в

конце должно составлять 15–30% от сечения канала в начале и сумма площади щелей не должна превышать 60% от сечения канала в начале.

В камерах холодильной обработки продуктов задача размещения воздухоохладителей прежде всего нацелена на создание необходимой скорости движения воздуха в зоне размещения охлаждаемого или замораживаемого продукта (см. главы 5, 17).

Подбор воздухоохладителей может производиться и с помощью пакетов программ. К сожалению, пока еще отсутствуют пакеты программ, позволяющих учесть все особенности размещение воздухоохладителей в охлаждаемой камере.

Подбор охлаждающих батарей начинают с предварительного выбора типа конструкции (пристенная или потолочная; змеевиковая или коллекторная; трубы гладкие, оребренные стальные или панельные элементы), материала (сталь, медь, алюминий) и габаритных размеров, руководствуясь назначением, планировкой и размерами камеры, а также видом подаваемого в батареи охлаждающего вещества (аммиак, хладон, хладоноситель).

Обычно выбирают батареи полной заводской готовности. При отсутствии готовых батарей их компонуют из унифицированных блоков и поддонов или из секций. Наконец, батареи изготавливают из труб в мастерской монтажных заготовок.

Расчетную площадь теплопередающей поверхности батарей определяют по формуле

$$F_{б,р} = Q_{б,р} / (k_б \theta_б), \quad (14.8)$$

где $Q_{б,р}$ — расчетная тепловая нагрузка на батарею; $k_б$ — коэффициент теплопередачи батарей; $\theta_б$ — разность температур теплообменивающихся сред.

Длина шланга батареи непосредственного охлаждения не должна превышать 100 м с целью снижения потерь давления хладагента. Для рассольных батарей выбирают длину шланга в пределах 200–400 м с целью уменьшения образования паровых пробок в батареях. Необходимое число батарей выбирают так, чтобы их суммарная площадь теплопередающей поверхности была близка к площади $F_{б,р}$. Пример размещения батарей приведен на рис. 14.4.

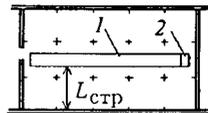


Рис. 14.3. Размещение воздухоохладителя типа Я10-АВ2-250

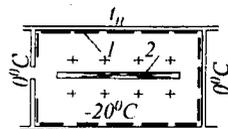


Рис. 14.4. Размещение батарей в холодильной камере: 1 — пристенная батарея; 2 — потолочная батарея

Батареи размещают в первую очередь на поверхностях с наибольшим теплопритоком: на потолке, на наружных стенах, на стенах отделяющих камеру от более теплых помещений. На стенах батареи должны находиться в верхней части стены, так как холодный воздух опускается вниз и перехватывает теплоприток. Кроме того, температура в помещении с батарейным охлаждением повышается от пола к потолку, примерно на 1 K/m .

В камерах с температурами -2°C и выше не размещают батареи на потолке из-за капель сконденсировавшейся воды на продукты и ухудшения их товарного вида, создания условий для развития патогенной флоры.

14.4 Подбор аккумуляторов холода

Целесообразность применения аккумуляторов холода обусловлена наличием выраженного пикового теплопритока, который превышает среднесуточный на 40–50%, а его единовременная продолжительность составляет не более четырех часов.

Аккумуляирование холода осуществляют либо путем понижения температуры определенного объема жидкого хладоносителя на несколько градусов (чаще всего на 6–10 K), либо намораживанием слоя льда на охлаждающей поверхности.

Для подбора аккумулятора холода необходимо определить среднесуточный теплоприток

$$Q_{\text{сут}} = \sum Q_i \tau_i / 24, \quad (14.9)$$

где Q_i — теплоприток от i -го источника; τ_i — время действия i -го теплопритока.

Вместимость жидкостного бака-аккумулятора $V_{\text{ак}}$ определяют по необходимому объему охлажденного хладоносителя

$$V_{\text{ак}} = 1,2 \sum Q_i \tau_i / (\rho_s c_s \Delta t_s), \quad (14.10)$$

где ρ_s — плотность хладоносителя; c_s — теплоемкость хладоносителя; Δt_s — охлаждение хладоносителя.

Аккумуляирование холода путем намораживания льда в основном осуществляется при использовании ледяной или холодной воды. Выбор испарителя-аккумулятора производится по площади теплопередающей поверхности, которая принимается наибольшей из рассчитанной по трем условиям: намораживания необходимого объема льда на теплопередающей поверхности, обеспечения требуемого теплового потока

в процессе зарядки аккумулятора, обеспечения необходимой скорости таяния льда в период снятия пикового теплопритока.

Площадь теплообмена по первому условию рассчитывается по зависимости

$$F = 1,2 \sum Q_i \tau_i / (r_l \tau_l \delta_l), \quad (14.11)$$

где r_l — удельная теплота замораживания льда, $r_l = 335$ кДж/кг; ρ_l — плотность льда, $\rho_l = 917$ кг/м³; δ_l — толщина слоя льда, рекомендуется принимать не более 40 мм.

Обеспечить теплоотвод в процессе зарядки аккумулятора позволяет площадь теплопередающей поверхности, которая должна быть не менее

$$F = Q_{o.p.} / \{k(t_{s2} - t_{s1}) / \ln[(t_{s2} - t_0) / (t_{s1} - t_0)]\}, \quad (14.12)$$

где k — коэффициент теплопередачи, который находят по графику в зависимости от толщины льда.

Скорость отвода пикового теплопритока тающим льдом обеспечивается площадью теплопередающей поверхности, рассчитываемой по зависимости

$$F = Q_{max} / \{\alpha(t_{s2} - t_{s1}) / \ln[(t_{s2} - t_l) / (t_{s1} - t_l)]\}, \quad (14.13)$$

где α — коэффициент теплоотдачи от поверхности тающего льда к воде, принимают 0,12–0,2 кВт/(м² · К); t_l — температура на поверхности тающего льда, принимают 0,5 – 1°С.

14.5 Подбор градирен

Подбор градирен предполагает проведение упрощенного теплового расчета для определения теплового потока в рабочих условиях и нахождение их числа, обеспечивающего требуемое значение охлаждения воды при заданной тепловой нагрузке и расчетных параметрах окружающей среды.

Расчетная тепловая нагрузка на градирню в общем случае складывается из тепловых потоков в конденсаторах и в маслоохладителях Q_m , если последние охлаждаются водой из общих градирен

$$Q_{гр.р} = Q_k + Q_m.$$

Тепловой поток в маслоохладителях можно рассчитать, используя опытные данные или по формуле

$$Q_m = \sum (m_{m.i} c_w \Delta t_{m.i}), \quad (14.14)$$

где $m_{м.і}$ — массовый расход воды через маслоохладитель i -го компрессора; c_w — удельная теплоемкость воды; $\Delta t_{м.і}$ — нагрев воды в маслоохладителе i -го компрессорного агрегата, составляющий 5–10 К.

По расчетной тепловой нагрузке определяют требуемые: площадь фронтального сечения градирен, если известна плотность теплового потока $q_{гр}$

$$F_{гр.р} = Q_{гр.р}/q_{гр}$$

или номинальный тепловой поток

$$Q_{гр.н} = c_{гр} Q_{гр.р}, \quad (14.15)$$

где $q_{гр}$ — плотность теплового потока в градирне; $c_{гр}$ — коэффициент, позволяющий определить номинальный тепловой поток.

Число градирен $n_{гр}$, обеспечивающих отвод тепловой нагрузки, находят из отношения

$$n_{гр} = F_{гр.р}/F_{гр.і}$$

или

$$n_{гр} = Q_{гр.н}/Q_{гр.н.і}, \quad (14.16)$$

где $F_{гр.і}$ — площадь поверхности фронтального сечения i -й градирни; $Q_{гр.н.і}$ — номинальный тепловой поток в i -й градирне.

Для крупных холодильных установок обычно предусматривают автономную систему охлаждения масла водой с температурой не выше 30°С. Это условие является определяющим при выборе таких градирен.

14.6 Подбор емкостных аппаратов

Промежуточные сосуды чаще всего входят в состав двухступенчатых компрессорных агрегатов. Если возникает необходимость, то их подбирают по значению внутреннего диаметра. Требуемый диаметр находят по формуле

$$d_{пс.р} = \sqrt{4m_{км}v_{вс}/(\pi w_{пс})}, \quad (14.17)$$

где $m_{км}$ — массовая подача компрессора; $v_{вс}$ — удельный объем всасываемого в компрессор пара; $w_{пс}$ — скорость движения пара в промсосуде, допускается не более 0,5 м/с.

Каждый двухступенчатый компрессорный агрегат комплектуется, как правило, индивидуальным промсосудом, но выполняются схемы, в которых через один промсосуд работают несколько компрессорных агрегатов.

Отделители жидкости подбирают по значению внутреннего диаметра, определяемого по формуле

$$d_{\text{о.ж.р}} = \sqrt{4m_{\text{км}}v_{\text{вс}}/(\pi w_{\text{о.ж}})}, \quad (14.18)$$

где $w_{\text{о.ж}}$ — скорость движения пара в отделителе жидкости, допускается не более 0,5 м/с.

Из каталогов выбирают отделитель жидкости, диаметр которого близок к расчетному значению. В торговых холодильных установках на каждый компрессорный агрегат устанавливается один отделитель жидкости. В крупных холодильных установках с безнасосной подачей хладагента устанавливается два отделителя жидкости на каждую температуру кипения. В системах с насосной подачей хладагента устанавливается один отделитель жидкости на каждую температуру кипения хладагента. В холодильных установках с подачей хладагента в испарители для охлаждения жидкостей и постоянным удалением жидкого хладагента из отделителя жидкости применяется аппарат на каждый испаритель.

Ресиверы циркуляционные, компаундные, защитные, линейные и дренажные выбирают по значению вместимости. Циркуляционные, защитные и компаундные ресиверы устанавливают по одному на каждую температуру кипения. Если емкость системы требует установки большего количества ресиверов, то целесообразно испарительную систему разделить на большее количество блоков меньшей вместимости по хладагенту, что обеспечит не только эффективную работу охлаждающих устройств, но повысит безопасность эксплуатации холодильной установки. Линейные и дренажные ресиверы устанавливаются, как правило, общие на всю систему. Дренажных ресиверов может быть установлено несколько, если при этом упрощается и ускоряется аварийное удаление хладагента из поврежденной части холодильной установки.

Требуемая вместимость зависит от вида подачи хладагента в охлаждающие приборы, типа ресивера, вида сосуда и особенности его конструкции и определяется по формулам:

— при верхней подаче хладагента:

циркуляционного (и компаундного) вертикального со стояком, совмещающего функцию отделителя жидкости

$$V_{\text{ц.в}} = 2(V_{\text{н.т}} + 0,5V_{\text{с.о.и}} + 0,4V_{\text{в.т}}), \quad (14.19)$$

циркуляционного (и компаундного) горизонтального со стояком, совмещающего функцию отделителя жидкости

$$V_{\text{ц.в}} = 3(V_{\text{н.т}} + 0,5V_{\text{с.о.и}} + 0,4V_{\text{в.т}}), \quad (14.20)$$

— при нижней подаче хладагента:
циркуляционного (и компаундного) вертикального со стояком, совмещающего функцию отделителя жидкости

$$V_{ц.в} = 2(V_{н.т} + 0, 2V_{с.о.и} + 0, 3V_{в.т}), \quad (14.21)$$

циркуляционного (и компаундного) горизонтального со стояком, совмещающего функцию отделителя жидкости

$$V_{ц.в} = 3(V_{н.т} + 0, 2V_{с.о.и} + 0, 3V_{в.т}), \quad (14.22)$$

защитного вертикального

$$V_{з.в} = 0, 5V_{с.о.и}, \quad (14.23)$$

защитного горизонтального

$$V_{з.г} = 0, 6V_{с.о.и}, \quad (14.24)$$

линейного

$$V_{л} = 0, 3 \sum V_{с.о.и. j}, \quad (14.25)$$

дренажного вертикального

$$V_{д.в} = 1, 6V_{д}, \quad (14.26)$$

дренажного горизонтального

$$V_{д.г} = 1, 4V_{д}. \quad (14.27)$$

В формулах (14.11)–(14.19) приняты следующие обозначения: $V_{н.т}$ — вместимость нагнетательного трубопровода насоса, которая может быть рассчитана при известных значениях внутреннего диаметра нагнетательного трубопровода и его длины, определяемой по чертежу; $V_{с.о.у}$ — суммарная вместимость охлаждающих устройств (батареи, воздухоохладителя, полости хладагента испарителя и другого холодильного технологического оборудования); $V_{в.т}$ — вместимость всасывающего трубопровода на участке от охлаждающих устройств до циркуляционного (компаундного) ресивера, рассчитывают так же, как и нагнетательного $V_{н.т}$; $V_{д}$ — максимальный объем жидкого хладагента, дренируемого в ресивер.

Вместимость батарей и воздухоохладителей можно определить, если известны их марки, вместимости и число аппаратов. В ситуации, когда известна расчетная тепловая нагрузка на охлаждающие устройства,

вместимость можно рассчитать так. Находят доли расчетной тепловой нагрузки на оборудование, приходящиеся на батареи b и воздухоохладители $1 - b$. Определяют требуемую площадь теплопередающей поверхности, задавшись маркой (типом) батарей

$$F_{б,р} = bQ_{т,р}/(k_бQ_б) \quad (14.28)$$

и воздухоохладителей

$$F_{во,р} = (1 - b)Q_{т,р}/(k_{во}Q_{во}). \quad (14.29)$$

По расчетному значению площади теплопередающей поверхности и известному значению площади единичного охлаждающего устройства по каталогам находят их число. Затем, зная вместимость единичного устройства, определяют вместимость испарительной системы. Если неизвестна конструкция батарей, то их суммарную вместимость можно определить следующим образом. По расчетному значению $F_{б,р}$ находят длину труб, составляющих эту площадь поверхности,

$$L_{тр} = F_{б,р}/f_{тр},$$

а затем их вместимость

$$V_б = L_{тр}v_{тр},$$

где $f_{тр}$ — площадь поверхности 1 м трубы; $v_{тр}$ — вместимость 1 м трубы.

По расчетному значению вместимости выбирают ресиверы. Затем циркуляционные, компаундные и защитные ресиверы, выполняющие функцию отделителя жидкости, проверяют на предмет выполнения ими этой функции. Скорость движения пара в ресивере не должна превышать допустимое значение, которое равно для аппаратов:

— вертикальных

$$w_{д,в} = w_{ос},$$

— горизонтальных

$$w_{д,г} = 2w_{ос}L_{ан}/d_{ан},$$

где $w_{ос}$ — скорость осаждения капель хладагента, не более 0,5 м/с; $l_{ан}$ — расстояние между патрубками ресивера (вход двухфазного потока из охлаждающих устройств и выход пара во всасывающий трубопровод); $d_{ан}$ — внутренний диаметр ресивера.

Скорость движения пара в ресивере $w_{ан}$ определяют по формуле

$$w_{ан} = V_{ан}/S_{ан},$$

где $V_{\text{ап}}$ — объемный расход пара через ресивер, определяемый по зависимости, $V_{\text{ап}} = m_{\text{км}} v''_{\text{вс}}$; $m_{\text{км}}$ — массовая подача компрессоров, всасывающих пар из этого ресивера; $v''_{\text{вс}}$ — удельный объем сухого насыщенного пара при температуре кипения; $S_{\text{ап}}$ — площадь сечения аппарата, по которому движется пар, равная для ресиверов: вертикального $S_{\text{ап}} = 4\pi d_{\text{ап}}^2/4$; горизонтального, заполненного жидкостью на 50%, $S_{\text{ап}} = \pi d_{\text{ап}}^2/8$.

Если скорость движения пара в аппарате превышает допустимое значение, которое для аммиачных холодильных установок составляет $w_{\text{д.в}} \leq 0,5$ м/с и $w_{\text{д.г}} \leq 1$ м/с, то выбирают ресивер большего диаметра или большее их число.

Маслоотделители центробежного типа МО выбирают по значению внутреннего диаметра корпуса, а типа Я10-ЕГЦ (гидроциклон) по объемной подаче жидкого хладагента в аппарат (или по скорости движения жидкости во входном патрубке). Требуемый диаметр аппарата равен

$$d_{\text{мо.р}} = \sqrt{4V_{\text{мо}}/(\pi w_{\text{мо}})},$$

где $V_{\text{мо}}$ — объемный расход пара через маслоотделитель, равный $V_{\text{мо}} = m_{\text{км}} v_{\text{наг}}$, (здесь $m_{\text{км}}$ — массовая подача компрессоров, нагнетающих пар в аппарат; $v_{\text{наг}}$ — удельный объем пара, нагнетаемого компрессорами); $w_{\text{мо}}$ — скорость движения пара в аппарате, равная 1 м/с для марки МО.

По значению найденного диаметра выбирают маслоотделитель, внутренний диаметр которого приблизительно равен расчетному. Центральные маслоотделители, устанавливаемые перед конденсаторной группой, подбираются в количестве не менее двух. Требуемое количество маслоотделителей марки Я10-ЕГЦ находят из условия, что через каждый аппарат проходит $15 \text{ м}^3/\text{ч}$ жидкости.

Аммиачные насосы подбираются по значениям объемной подачи хладагента и давлению, Па, развиваемому ими, или напору H , м. Требуемая объемная подача хладагента $V_{\text{н.р}}$ определяются по формуле

$$V_{\text{н.р}} = Q_{\text{т.}i} n / (r_0 \rho_{\text{ж}}), \quad (14.30)$$

где $Q_{\text{т.}i}$ — теплоприток при i -й температуре кипения; n — кратность циркуляции хладагента, равная при нижней подаче хладагента 2–5 и при верхней 6–15.

Требуемое давление $p_{\text{н.р}}$, Па, развиваемое насосом, находится по зависимости

$$p_{\text{н.р}} = 1,1 (\Delta p_{\text{нт}} + \Delta p_{\text{вт}}), \quad (14.31)$$

где $\Delta p_{нт}$ — падение давления в нагнетательном трубопроводе насоса (до охлаждающих устройств); $\Delta p_{вт}$ — падение давления во всасывающем трубопроводе, включая охлаждающие устройства.

Кроме штатных насосов должны быть и резервные. Насос устанавливается на группу охлаждающих устройств с примерно равными тепловыми и гидравлическими характеристиками.

Водяные и рассольные насосы подбирают, как и аммиачные, по объемной подаче вещества и создаваемому давлению (напору). Требуемую объемную подачу находят по формулам:

хладоносителя в испарители

$$V_n = Q_n / (\rho_s c_s \Delta t_s), \quad (14.32)$$

воды в конденсаторы

$$V_k = Q_k / (\rho_w c_w \Delta t_w), \quad (14.33)$$

воды в градирни, испарительные конденсаторы и в компрессорные агрегаты

$$V_{об} = \sum V_{об.i}, \quad (14.34)$$

где $V_{об.i}$ — номинальная подача воды в i -е оборудование.

Обычно выбирают 2–3 штатных насоса и 1 резервный одинаковой производительности.

При подборе насосов также следует учитывать гидравлическое сопротивление сети трубопроводов и аппаратов. Например, насосы, подающие воду на форсуночную градирню, развивают напор на 50–200 кПа больше, чем насосы, подающие воду на вертикальные кожухотрубные конденсаторы. Поэтому установка насосов с одинаковыми характеристиками приводит к перерасходу воды, которая сливается в канализацию.

Технологический трубопровод в общем случае подбирается по внутреннему диаметру с учетом параметров транспортируемой среды и падения давления в нем, которое не должно превышать допустимое значение. Требуемый диаметр определяется по номограмме или рассчитывается по формуле

$$d_{тр.р} = \sqrt{4V_{тр} / (\pi w_{тр})}, \quad (14.35)$$

где $V_{тр}$ — объемная подача вещества по трубопроводу; $w_{тр}$ — скорость движения вещества.

Полученный расчетом внутренний диаметр трубы округляется до ближайшего стандартного размера. На этом подбор относительно короткого и неразветвленного трубопровода заканчивается, а для более

сложного выполняется гидравлический расчет с целью определения падения давления в нем, значение которого не должно превышать допустимое.

Падение давления однофазной среды в трубопроводе $\Delta p_{\text{тр}}$, Па, в общем случае равно

$$\Delta p_{\text{тр}} = \lambda_{\text{тр}}(l + \sum l_s) \rho w_{\text{тр}}^2 / 2d_{\text{тр}} \pm \rho gh, \quad (14.36)$$

где $\lambda_{\text{тр}}$ — коэффициент трения, определяемый в зависимости от числа Рейнольдса по формулам

$$\begin{aligned} \text{при } Re < 2300 \quad \lambda_{\text{тр}} &= 64/Re, \\ \text{при } Re \geq 2300 \quad \lambda_{\text{тр}} &= (\Delta/d_{\text{тр}} + 68/Re)^{0,25}. \end{aligned}$$

Здесь Δ — шероховатость трубы, равная 0,001 мм для медных, 0,06 мм для стальных, предназначенных для хладагента, 0,5 мм для стальных в рассольной среде); l — длина трубопровода; l_s — эквивалентная длина местных сопротивлений, равная $l = Ad_{\text{тр}}$; A — коэффициент; ρ — плотность вещества; $w_{\text{тр}}$ — скорость движения вещества в трубе; h — значение подъема (или спуска) трубопровода.

Движение двухфазной среды вызывает существенное увеличение падения давления по сравнению с однофазной средой, поэтому диаметр трубопровода $d_{\text{тр.лф}}$, по которому движется двухфазная среда (например, соединяющего охлаждающие устройства и циркуляционный ресивер), рассчитывается по формуле

$$d_{\text{тр.лф}} = d_{\text{тр.р}} (\Delta p_{\text{тр.лф}} / \Delta p_{\text{тр}})^{0,21}, \quad (14.37)$$

где $p_{\text{тр.лф}}$ — падение давления в трубопроводе при движении двухфазной среды.

Предварительно определяется X — параметр Локкарта–Мартинелли

$$X = (n - 1)^{0,9} (v_{\text{ж}}/v_{\text{п}})^{0,5} (\mu_{\text{ж}}/\mu_{\text{п}})^{0,1}, \quad (14.38)$$

где $v_{\text{ж}}$, $v_{\text{п}}$ — удельный объем соответственно жидкой и паровой фаз; $\mu_{\text{ж}}$, $\mu_{\text{п}}$ — вязкость соответственно жидкой и паровой фаз в состоянии насыщения.

Отношение $\Phi = \Delta p_{\text{тр.лф}} / \Delta p_{\text{тр}}$ определяется по значению параметра X , которое находится по формулам:

$$\text{при } 0,01 \leq X \leq 0,96$$

$$\Delta p_{\text{тр.лф}} / \Delta p_{\text{тр}} = 1,42 + 22,5X - 28X^2 + 36,6X^3 - 17,5X^4, \quad (14.39)$$

$$\text{при } 0,96 \leq X \leq 5$$

$$\Delta p_{\text{тр.лф}} / \Delta p_{\text{тр}} = -12,3 + 32,1X - 2,56X^2 + 0,38X^3. \quad (14.40)$$

Падение давления в трубопроводе Δp_h , связанное с подъемом однофазной среды, определяется по формуле

$$\Delta p_h = [\rho'(1 - \varphi) + \rho''\varphi]gh, \quad (14.41)$$

где ρ' , ρ'' — плотность соответственно жидкой и паровой фаз в насыщенном состоянии; g — ускорение свободного падения, равное $9,81\text{м/с}^2$; h — высота подъема двухфазной среды; φ — истинное объемное паросодержание, определяемое по формуле

$$\varphi = c/1 + [(1 - x)/x](\rho''/\rho'), \quad (14.42)$$

где c — коэффициент, равный $0,04-0,08$; x — массовое паросодержание среды, рассчитываемое по формуле

$$x = m_{\text{п}}/m_{\text{ж}}, \quad (14.43)$$

здесь $m_{\text{п}}$, $m_{\text{ж}}$ — массовый расход соответственно паровой и жидкой фаз.

Трубопроводы, соединяющие группы теплообменных аппаратов, кроме вышеприведенных расчетов, проверяются на обеспечение подачи хладагента, хладоносителя, теплоносителя в отдельные устройства в соответствии с требуемыми значениями. Расчеты выполняются на основе законов Кирхгофа для гидравлических сетей:

$$\begin{aligned} G_i &= \rho V_{\text{п}}; \\ \Delta p_i &= \rho g H_{\text{п}} \\ \sum G_i &= 0; \\ \sum \Delta p_i &= 0, \end{aligned} \quad (14.44)$$

где G_i — массовый поток вещества на i -м участке разветвленной сети трубопроводов; ρ — плотность вещества; $V_{\text{п}}$ — объемная подача насоса; Δp_i — потери давления на i -том участке; g — ускорение свободного падения; $H_{\text{п}}$ — напор насоса.

Длительность подобного рода расчетов предопределяется использованием ЭВМ и пакетов программ для решения систем уравнений.

14.7 Проектирование машинных отделений

Оборудование холодильных установок, обеспечивающих централизованное хладоснабжение, в основном размещают в одном помещении, называемом машинным отделением. Иногда аппараты располагают в другом помещении, именуемом аппаратным отделением, которое может

быть смежным с машинным отделением или находиться на некотором расстоянии; например, если охлаждаемый объект расположен на значительном расстоянии от машинного отделения, то для уменьшения диаметра всасывающего трубопровода циркуляционные ресиверы с насосами устанавливают рядом с объектом в отдельном помещении — аппаратном отделении.

Машинное (аппаратное) отделение должно располагаться по возможности ближе к охлаждаемым объектам и отвечать определенным требованиям, зависящим от свойств хладагента и хладоносителя, — токсичности, горючести и взрывоопасности. Наиболее жесткие требования предъявляют к помещениям аммиачной холодильной установки. Так, машинное отделение аммиачной холодильной установки может располагаться в отдельно стоящем здании, в пристройке к зданию холодильника или одноэтажному производственному зданию. Оно может быть встроенным в холодильник или в одноэтажное производственное здание, от помещений которых оно должно быть отделено противопожарными стенами, не имеющими проемов.

Машинное (аппаратное) отделение должно иметь не менее двух выходов, максимально удаленных друг от друга, один — обязательно непосредственно наружу, а второй возможен через тамбур-шлюз с подпором воздуха в помещение пульта управления (если оно имеет выход наружу) или в коридор подсобно-бытовых помещений компрессорного цеха, имеющий выход наружу. Звукоизолированное помещение пульта управления для дежурного персонала, смежное с машинным отделением, оборудуют проемом с герметичным остеклением площадью не более 3 м^2 в стене, разделяющей их. При этом в помещении пульта поддерживают избыточное давление воздуха, препятствующее проникновению в него воздуха из машинного отделения. Общая длина пути по проходам из любой точки машинного (аппаратного) отделения до двери должна быть не более 30 м. Аппаратное отделение, смежное с машинным, должно иметь (помимо выхода в последнее) еще выход наружу.

Машинное отделение обычно объединяют со вспомогательными помещениями, обеспечивающими работу холодильной установки и санитарно-бытовые условия работы персонала компрессорного цеха. Эти помещения, отделенные несгораемой стеной, имеют выход через отдельный коридор, связанный дверью с машинным (аппаратным) отделением через тамбур-шлюз и имеющий выход наружу. При машинном отделении может находиться блок электроснабжения цеха, отделенный несгораемой стеной; помещения для трансформаторов, электrorаспределительных устройств и электрощита должны иметь выход непосредственно наружу.

Ограждающие конструкции здания машинного (аппаратного) отделения должны иметь легкобросываемые элементы (окна, двери и др.) общей площадью не менее $0,05 \text{ м}^2$ на 1 м^3 отделения. Оконные переплеты должны быть застеклены обычным оконным стеклом, а высота подоконников не должна превышать 1,2 м. Двери должны открываться в сторону выхода. Отметка пола машинного (аппаратного) отделения и сообщающихся с ним через коридор помещений не должна быть ниже уровня прилегающей территории. Если эта отметка выше уровня территории, то на выходе из отделения выполняют площадку со ступенями.

При размещении холодильного оборудования в помещении контейнерного типа (то есть в помещении, масса, габаритные размеры и каркас которого позволяют перевозить его автомобильным и железнодорожным транспортом) высота его от пола до низа выступающих частей оборудования и трубопроводов над проходом и на пути эвакуации должна быть не менее 2 м.

При размещении оборудования холодильной установки и технологических трубопроводов необходимо: максимально сокращать площадь, объем помещений, длину трубопроводов, обеспечивая при этом условия безопасного проведения работ по монтажу, техническому обслуживанию и ремонту оборудования и трубопроводов; предусматривать возможность расширения установки. Сокращение площади и объема помещений для холодильного оборудования достигается рациональным его размещением с учетом возможности работы оборудования на открытом воздухе, минимальных размеров проходов между выступающими частями оборудования, а также между ними и элементами здания, установленных правилами техники безопасности. Например, ширина основного прохода или расстояние от регулирующей станции до выступающих частей агрегата должны быть не менее 1,5 м; ширина прохода между выступающими частями агрегатов допускается не менее 1 м; ширина неосновного прохода между гладкой стеной и аппаратом (агрегатом) должна быть не менее 0,8 м; расстояние от внутренней колонны до выступающих частей оборудования допускается 0,7 м при наличии других проходов требуемой ширины.

Машинное отделение контейнерного типа аммиачной холодильной установки не рассчитано на постоянное присутствие обслуживающего персонала, поэтому в них ширина основного прохода должна быть не менее 0,8 м при длине прохода до выхода не более 5 м; ширина неосновного прохода между гладкой стеной и оборудованием должна быть не менее 0,6 м.

Оборудование аммиачных холодильных установок принято размещать следующим образом: в машинном отделении — компрессорные аг-

регатy, горизонтальные кожухотрубные конденсаторы, защитные, циркуляционные, компаундные и дренажные ресиверы, промежуточные сосуды, насосы, центральную распределительную (регулирующую) станцию; на открытой площадке (в климатических зонах с температурой воздуха зимой не ниже -40°C) вблизи машинного (аппаратного) отделения — конденсаторы, линейные ресиверы, центральные маслоотделители, маслособиратели, градирни; в охлаждаемых помещениях — батареи и воздухоохладители; в производственных помещениях — льдогенераторы, скороморозильные аппараты, фризеры. Водяные насосы оборотной системы водоснабжения размещают в машинном отделении, а на крупных установках — в насосном отделении совместно с пожарными и хозяйственными насосами в блоке с конденсаторами и градирнями. Распределительные коллекторы камер могут располагаться не только в машинном отделении, но и в одноэтажных холодильниках на антресоли в грузовых коридорах, в многоэтажных на каждом этаже в специальных отапливаемых помещениях.

В соответствии с правилами техники безопасности для обслуживания оборудования и арматуры на высоте 1,8 м от пола должна быть устроена площадка с ограждением и лестницей. Если имеется несколько единиц оборудования, расположенных рядом, то устраивают общую антресоль (часто на двух уровнях) с ограждением и лестницами.

Значительно сокращает строительную площадь машинного (аппаратного) отделения и повышает безопасность эксплуатации холодильной установки размещение части оборудования на открытой площадке около машинного отделения. Для уменьшения диаметра и протяженности трубопроводов открытые площадки должны максимально приближаться к машинному отделению; при этом учитывают характер застройки территории, назначение соседствующих сооружений, направление господствующих ветров летом и зимой, возможные последствия аварий, характеристики оборудования. Например, градирни, испарительные и воздушные конденсаторы должны обдуваться ветром, чтобы не создавалась зона с повышенной влажностью и температурой, при этом ветер не должен препятствовать движению воздуха, создаваемому вентиляторами. Унос капель воды не должен влиять на состояние расположенных по соседству объектов. При размещении нескольких единиц градирен, испарительных и воздушных конденсаторов расстояние между аппаратами должно быть не менее 2–3 м; аппараты располагают в шахматном порядке на расстоянии не менее 2 м. Открытую площадку лучше располагать со стороны глухой стены, чтобы повысить уровень безопасности при работе на токсичном и пожароопасном хладагенте.

Градири, испарительные и воздушные конденсаторы могут размещаться на кровле машинного (аппаратного) или насосного отделения.

Сокращение площади машинного отделения возможно в результате выбора способствующего этому оборудования и схемы холодильной установки, например агрегатированного оборудования, винтовых компрессорных агрегатов с подводом пара хладагента при промежуточном давлении, компаундной холодильной установки.

Для технического обслуживания оборудования необходимо предусмотреть доступ к обслуживаемым местам и достаточные проходы. Оборудование, требующее непрерывного или периодического наблюдения, должно быть легко доступно, не должно устанавливаться на высоте, затрудняющей обслуживание. Следует обеспечить необходимую естественную освещенность элементов, требующих более внимательного обслуживания. Также достаточно хорошо должны быть освещены контрольно-измерительные приборы. Для обеспечения удобства монтажа и ремонта оборудования необходимо учитывать возможность его разборки, в связи с чем следует предусматривать место, достаточное для того, чтобы извлечь из компрессора или аппарата наиболее длинную деталь и чтобы этому не мешали ни соседнее оборудование, ни элементы строительных конструкций здания. Трубчатые аппараты нужно располагать таким образом, чтобы со стороны одной из крышек имелась возможность вынуть и заменить любую из труб, а также периодически очищать трубы. Для этого не обязательно иметь здесь свободную площадь. Если кожухотрубный аппарат установлен против окна, то через него возможны и чистка труб, и их замена. Возле машин и аппаратов должны быть свободные площадки, достаточные для размещения отдельных крупных частей при монтаже или снятых при ремонте. Такие монтажные площадки могут быть общими для группы аппаратов.

Для обеспечения возможности расширения холодильника (производства) или перспективного строительства нового потребителя холода в машинном (аппаратном) отделении предусматривают резервную площадь для установки оборудования, а на генплане предусматривают свободное место. Площадь подсобно-бытовых помещений определяется численностью персонала компрессорного цеха, административно-хозяйственных — количеством и холодопроизводительностью компрессорных агрегатов, блока электроснабжения — установленной электрической мощностью оборудования.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ХОЛОДИЛЬНЫХ УСТАНОВОК

Большинство процессов в холодильных установках самоустанавливающиеся и поэтому можно было бы обойтись без автоматизации, однако в ряде случаев самоустановление режима происходит за пределами допустимых по требованиям пищевой технологии, по требованиям безопасности эксплуатации и т. п.

Автоматизация холодильных установок производится с применением приборов и средств автоматизации. Самоустановление режимов холодильной установки позволяет использовать относительно простые системы автоматизации.

Автоматизация холодильных установок позволяет освободить человека от непосредственного управления процессом производства холода и обеспечить безопасную работу холодильной установки. К направлениям автоматизации холодильных установок относятся автоматически выполняемые функции: контроль, сигнализация, защита, регулирование и управление.

15.1 Автоматический контроль

Автоматический контроль подразумевает дистанционное наблюдение за изменением физических величин или запись их численных значений. Корректный выбор объема контролируемых параметров позволяет не только фиксировать точность поддержания технологического процесса, но и производить выявление причин, вызывающих отклонение параметров процесса от проектного. Контроль параметров холодильной установки может производиться с помощью микропроцессоров или компьютеров. На аммиачных холодильных установках должны контролироваться и фиксироваться следующие параметры:

- температура охлаждаемой среды в холодильно-технологическом оборудовании;
- давление всасывания хладагента в компрессор;
- температура и давление кипения хладагента в испарителе;
- температура всасывания хладагента в компрессор;
- температура и давление нагнетания хладагента компрессором;
- давление масляного насоса компрессора;
- промежуточная температура кипения (при использовании двухступенчатых компрессорных агрегатов);

- температура и давление конденсации хладагента;
- температура воды, поступающей на конденсатор;
- температура воды, выходящей из конденсатора;
- температура поступающего хладоносителя;
- температура выходящего хладоносителя;
- плотность хладоносителя;
- температура аммиака перед дросселирующим устройством;
- температура наружного воздуха;
- температура смоченного термометра.

На хладоновых холодильных установках некоторые из перечисленных параметров могут не контролироваться.

Перечисленный перечень контролируемых параметров является минимальным, который необходим для обеспечения безопасной работы холодильной установки. Число контролируемых параметров требуется существенно больше, если они используются для анализа эффективности работы, в первую очередь, снижения потребления электроэнергии на производство холода; уменьшения расхода охлаждающей воды, отводящей теплоту от конденсаторов и др.

15.2 Автоматическая сигнализация

Автоматическая сигнализация позволяет информировать персонал о включении отдельных элементов холодильной установки, достижении заданных или предельно допустимых значений параметров. Предусматривается звуковая и световая сигнализация. На крупных холодильных установках сигнализация выведена на мнемосхему, представляющую собой упрощенное изображение схемы. На элементах оборудования высвечивается информация: работает или нет данное оборудование; нормальный, ненормальный или предаварийный режим работы. Все большее количество холодильных установок, оснащается вычислительной техникой. На мониторе можно посмотреть информацию о работающем оборудовании, текущих режимах, а также просмотреть информацию о режиме за предыдущее время: час, сутки, неделю, месяц.

Сигнализация предусматривается световая и звуковая. Исполнительная сигнализация имеет, как правило, зеленый цвет. Предупредительная сигнализация обозначается желтым цветом и может сопровождаться звонком. Предаварийная сигнализация характеризуется красным световым сигналом и сиреной.

15.3 Автоматическая защита

Автоматическая защита обязательна на всех холодильных установках. Эксплуатация холодильных установок с выключенными приборами защиты не допускается. Защита позволяет не допустить разрушения оборудования при отклонениях процессов от нормальной работы, которые могут возникнуть вследствие, например, неисправностей в элементах холодильной установки. На аммиачных холодильных установках должна быть выполнена защита по следующим параметрам:

- предельно допустимое давление нагнетания хладагента;
- предельно допустимая температура нагнетания хладагента;
- предельно допустимая минимальная разность давлений в системе смазки компрессора;
- верхний предельно допустимый уровень жидкого аммиака в аппарате, выполняющем функцию защиты компрессора от влажного хода;
- нижняя предельно допустимая температура хладоносителя (при наличии испарителей для охлаждения жидких хладоносителей);
- минимальный расход воды (при наличии водяного охлаждения компрессора).

По решению фирмы-изготовителя оборудования или проектной организации кроме перечисленных видов защит могут быть установлены и другие.

Наличие автоматической защиты является обязательным компонентом всех холодильных установок от бытовых холодильников до крупных систем хладоснабжения пищевых предприятий. Эксплуатация холодильных установок, не оснащенных автоматической защитой или с отключенными приборами и исполнительными устройствами автоматической защиты, не допускается. Исключение делается на период пусконаладочных работ, производимых после монтажа или ремонта элементов холодильной установки. Указанные виды работ выполняются специалистами, которые имеют соответствующую подготовку.

В соответствии с современными требованиями система автоматической защиты должна фиксировать ситуации, связанные с предаварийными состояниями эксплуатируемого оборудования.

15.4 Автоматическое регулирование

Автоматическое регулирование — наиболее важный вид автоматизации. Основными параметрами, подлежащими регулированию в холодильных установках, являются следующие:

- температура воздуха в холодильной камере;

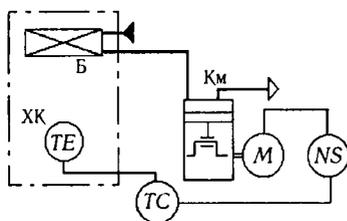


Рис. 15.1. Регулирование температуры воздуха в холодильной камере способом пуска-остановки компрессора:
 ХК — холодильная камера; Б — батарея;
 Км — компрессор; ТЕ-ТС — реле температуры; NS — магнитный пускатель;
 М — электродвигатель компрессора

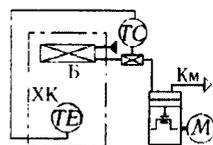


Рис. 15.2. Регулирование температуры воздуха в холодильной камере способом дросселирования пара хладагента на всасывании в компрессор:
 ХК — холодильная камера; Б — батарея; Км — компрессор; ТЕ-ТС — автоматический дроссель по температуре (АДТ); М — электродвигатель компрессора

- температура хладоносителя, подаваемого в холодильно-технологические аппараты;
- температура кипения хладагента в многоиспарительных системах;
- перегрев пара хладагента на всасывании в компрессоры или уровень хладагента в испарителе (циркуляционном ресивере).

Температуру воздуха в холодильной камере или температуру хладоносителя на выходе из испарителя можно регулировать несколькими способами в зависимости от реализованной схемы холодильной установки. В системах децентрализованного охлаждения часто применяют систему периодического пуска-остановки компрессора (рис. 15.1). В случае применения средних и крупных компрессоров используются способы изменения производительности компрессоров: дросселирование пара на стороне всасывания компрессора (рис. 15.2), количество одновременно работающих цилиндров (у поршневых компрессоров) или положение золотника (у винтовых компрессоров), частота вращения вала электродвигателя. В централизованных холодильных установках, где один или несколько компрессорных агрегатов обслуживают значительное количество охлаждаемых объектов, регулирование температуры воздуха в камерах производится путем отключения охлаждающих устройств (батарей, воздухоохладителей). При этом температура кипения хладагента регулируется независимыми регуляторами с использованием способов ступенчатого или плавного изменения производительности компрессоров.

Перегрев пара на стороне всасывания компрессора регулируется путем изменения подачи жидкого хладагента в испарительную систему. Наиболее часто для этой цели используются терморегулирующие вен-

тели (ТРВ) (см. рис. 15.3). Датчик температуры TE контролирует температуру пара на выходе из воздухоохладителя BO . Информация о повышении температуры пара на выходе из воздухоохладителя передается в блок TDC , который вызывает увеличение проходного сечения ТРВ и возрастает подача жидкого хладагента в воздухоохладитель. Понижение температуры пара на выходе из воздухоохладителя вызывает уменьшение подачи хладагента в воздухоохладитель. Варианты подобных систем регулирования подачи хладагента определяются типом используемого ТРВ (с внутренним уравниванием давления, с внешним уравниванием давления, с термoeлектрическими датчиками и др.).

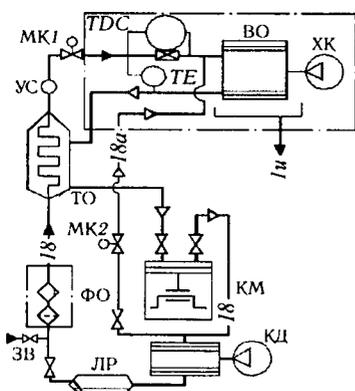


Рис. 15.3. Регулирование перегрева пара хладагента на всасывании в компрессор в холодильной установке с безнасосной подачей хладона в воздухоохладитель:

ХК — холодильная камера; ВО — воздухоохладитель; КМ — компрессор; TE и TDC — терморегулирующий вентиль; M — электродвигатель компрессора; МК1, МК2 — магнитоуправляемые вентили; ТО — регенеративный теплообменник; УС — указатель сухости хладона, ФО — фильтр-осушитель, ЛР — линейный ресивер, КД — конденсатор, ЗВ — заправочный вентиль

В системах, где применяются аппараты с фиксированным уровнем жидкости (циркуляционные ресиверы, испарители кожухотрубного типа и др.), используются регуляторы уровня в составе: датчик-реле уровня $LE-LC$, магнитоуправляемый клапан CB , ручной регулирующий вентиль (см. рис. 15.4). Повышение уровня жидкого хладагента в циркуляционном ресивере приводит к изменению сигнала датчика LE , который усиливается блоком LC и передается команда на закрытие магнитоуправляемого клапана CB . Ручной регулирующий вентиль используется для плавного изменения уровня в циркуляционном ресивере. Понижение уровня в циркуляционном ресивере вызывает открытие магнитоуправляемого клапана. Конструкция применяемого датчика LE оказывает влияние на схемное решение, удобство и быстроту настройки системы регулирования, надежность поддержания уровня жидкого хладагента.

Особенности регулирования параметров в холодильных установках, используемых на пищевых производствах различного назначения можно посмотреть в специализированной литературе.

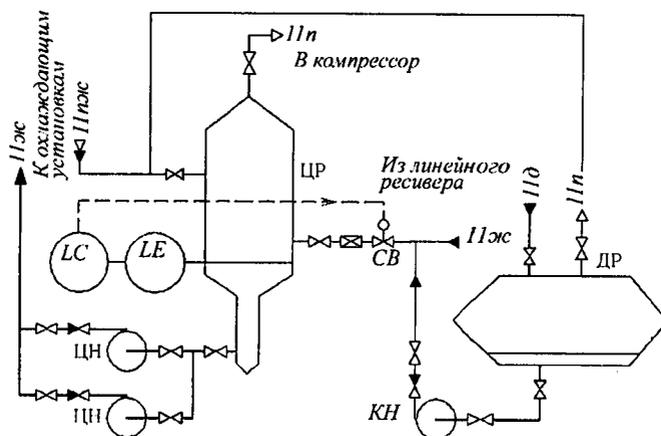


Рис. 15.4. Регулирование уровня жидкого аммиака в холодильной установке с насосной подачей в охлаждающие устройства:
 ЦР — циркуляционный ресивер; LE и LC — датчик-реле уровня; ЦН — циркуляционный насос; КН — насос подачи аммиака из дренажного ресивера; ДР — дренажный ресивер; СВ — магнитоуправляемый вентиль

15.5 Автоматическое управление

Автоматическое управление позволяет выполнять пуск или остановку компрессоров (насосов, вентиляторов), замену работающих элементов оборудования резервными, производить вспомогательные операции (оттаивание инея с поверхности воздухоохладителя или батарей, выпуск воздуха). Управление работой холодильных камер, оснащенных индивидуальными холодильными машинами производится с помощью микропроцессорных пультов (рис. 15.5), а для холодильных установок, где возможно несанкционированное вмешательство лиц, не имеющих отношение к данному технологическому процессу, предусматриваются настройка и управление холодильной установкой с помощью пульта дистанционного управления (рис. 15.6).

Системы хладоснабжения оснащаются компьютерными управляющими центрами. Наиболее совершенной на практике оказалась комбинированная система управления: локальное управление с помощью микропроцессоров охлаждающими устройствами, охлаждаемыми объектами, холодильно-технологическим оборудованием; централизованный сбор информации с локальных систем с возможностью внесения изменений в локальные системы с центрального компьютера (рис. 15.7). Основное достоинство, обеспечившее ее жизнеспособность, заключает-

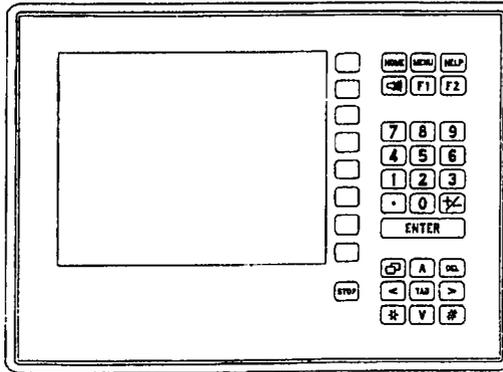


Рис. 15.5. Пульт управления холодильной установкой

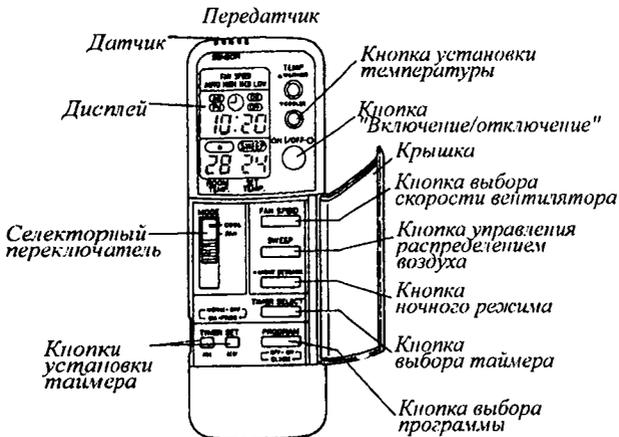


Рис. 15.6. Пульт дистанционного управления холодильной установкой

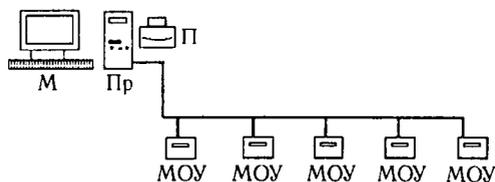


Рис. 15.7. Централизованно-локальное управление системой хладоснабжения:
М — монитор, Пр — процессор, П — принтер, МОУ — микропроцессоры
холодильно-технологического оборудования

ся в независимости локальных систем от перебоев в центральном компьютере и наоборот.

Унификация систем компьютерного управления пищевыми производствами и хладоснабжением позволяет решить актуальную задачу по непрерывному контролю качества пищевой продукции, начиная с момента ее первой холодильной обработки до продажи потребителю, включая транспортные перевозки. Разрабатываемые системы уже позволяют записывать и сохранять несколько контролируемых параметров на протяжении года. Причем микропроцессоры сопровождают каждую партию продукции.

ОСНОВЫ МОНТАЖА И ЭКСПЛУАТАЦИИ ХОЛОДИЛЬНЫХ УСТАНОВОК

16.1 Основы монтажа

Общие положения. *Монтаж* холодильного объекта — это стадия его жизненного цикла, в течение которой он размещается, собирается в соответствии с проектной документацией и вводится в работоспособное состояние, т. е. в состояние, в котором объект может выполнять свои функции в соответствии с назначением.

Совокупность рабочих операций, выполняемых на этой стадии, называют монтажными работами.

Весь комплекс работ по подготовке холодильной установки к использованию осуществляют в три этапа. На первом этапе проводят подготовку к производству монтажных работ по организационным, строительным и техническим аспектам; на втором — производят монтажные работы, завершающиеся индивидуальным его испытанием; на третьем — проводят комплексное испытание оборудования, заканчивающееся сдачей объекта в эксплуатацию.

Подготовка к производству монтажных работ. Подготовку к производству работ проводит монтажная организация, специалисты которой, руководствуясь НТД, выполняет следующее:

— изучают комплект проектной документации, полученной у заказчика;

— на основе этой документации разрабатывают монтажно-технологическую документацию; готовят временную производственную базу для хранения оборудования и материалов, изготовления нестандартизованного оборудования;

— получают оборудование и техническую документацию на оборудование (технический паспорт, инструкция изготовителя по монтажу и эксплуатации и др.), запорно-регулирующую арматуру, трубы, металлопрокат и вспомогательные материалы у заказчика;

— изготавливают нестандартизованное оборудование (трубопроводы, опорные металлоконструкции и др.);

— проверяют готовность зданий и сооружений для монтажа оборудования и трубопроводов; доставляют оборудование, металлоконструкции и трубопроводы в монтажную зону.

Трубопроводы изготавливают в мастерской монтажной организации на основе проектной документации и чертежей, выполненных с учетом реального взаимного положения оборудования и строительных конструкций.

Передачу оборудования и узлов трубопроводов в монтаж выполняют в соответствии с графиком производства работ, принятым в проекте производства монтажных работ (ППМР). При передаче оборудования в монтаж проверяют его комплектность (по упаковочной ведомости), соответствие проекту, техническое состояние по внешнему виду (без разборки) наличие и полноту технической документации и специального инструмента, поставляемых изготовителем и составляют акт.

Оборудование, имеющее видимые дефекты, просроченный гарантийный срок хранения, подлежит проверке (ревизии), при которой проверяют работоспособность узлов и деталей. Узлы трубопроводов и охлаждающих устройств при передаче в монтаж проверяют на соответствие чертежам, осматривают, обращая внимание на чистоту, состояние уплотнительных поверхностей фланцев, резьбовых соединений, наличие прокладок в разъемных соединениях.

В помещениях, сдаваемых под монтаж оборудования и трубопроводов, должны быть выполнены строительные работы, которые предусмотрены ППМР. Например, в камерах холодильника должна быть закончена отделка внутренней поверхности теплоизоляционных ограждений, установлены закладные детали (анкерные болты, пластины) для крепления охлаждающих устройств и трубопроводов.

При приемке помещений проверяют: наличие и правильность нанесения главных осей и высотных отметок (реперов) на строительных конструкциях, выполнения отверстий для прохода трубопроводов в стенах и перекрытиях, установки закладных деталей и прочность заделки закладных деталей.

При приемке фундаментов проверяют: соответствие их чертежам (геометрические размеры фундамента, колодцев, отверстий и закладных деталей); взаимное расположение фундаментных болтов и закладных деталей, колодцев и просверленных отверстий под анкерные болты); состояние поверхности (недопустимы трещины, сколы); прочность бетона методами разрушающего или неразрушающего контроля.

Факт приемки фундаментов, помещений и зданий констатируют актами с указанием результатов проверки и замечаний. Акты приемки с необходимой документацией, подписанные представителями строительной, монтажной организаций и заказчика, свидетельствуют о готовности объектов к производству монтажных работ.

Производство монтажных работ. Комплекс монтажных работ состоит из следующих основных этапов. Оборудование и узлы технологических трубопроводов доставляют в монтажную зону, распаковывают и осматривают (с целью оценить техническое состояние) в присутствии заказчика. Затем расконсервируют, выполняют укрупненную сборку, если это предусмотрено ППМР.

Установка оборудования предполагает выполнение операций по его перемещению грузоподъемными средствами в монтажной зоне для размещения на подготовленном фундаменте (или опорной металлоконструкции).

Оборудование размещают в соответствии с проектом, выверяют и закрепляют на фундаменте (опорной металлоконструкции). Возводят площадки для обслуживания и лестницы с поручнями, если это предусмотрено проектом. Прокладывают, выверяют и закрепляют технологические трубопроводы. Монтируют, налаживают и вводят в работоспособное состояние общепромышленное (электротехническое, санитарно-техническое и др.) оборудование, совокупность которого обеспечивает проведение индивидуального испытания холодильного оборудования.

Холодильные компрессорные агрегаты, аппараты (сосуды) и технологические трубопроводы подвергают индивидуальному испытанию, вид, метод проведения и оценка результатов которых указаны в ППМР. Например, компрессорные агрегаты обкатывают вхолостую и (или) под нагрузкой и испытывают избыточным давлением газа (воздуха, азота, CO_2) на плотность. Аппараты и трубопроводы испытывают давлением газа (воздуха, азота, CO_2) на прочность и плотность избыточным давлением и на герметичность вакуумом при нормативных значениях давлений.

Теплообменные аппараты, оснащенные вентиляторами (градирня, испарительный и воздушный конденсаторы) или мешалкой (открытый испаритель) испытывают так: теплообменные батареи давлением — на прочность и плотность, а вентиляторы и мешалки обкатывают.

Водяные, рассольные трубопроводы и соответствующие полости теплообменных аппаратов при совместной проверке испытывают гидравлически избыточным давлением 0,6 МПа.

Аппараты и трубопроводы, выдержавшие индивидуальное испытание, теплоизолируют, если теплоизоляция предусмотрена проектом. Теплоизоляцию выполняют в соответствии с проектом, например, из мягких (маты из минеральной ваты или из вспененной резины) либо жестких (из плит, фасонных изделий) материалов, методом напыления или заливки в форму. Фасонные изделия, формованные, например, из

пенополиуретана, пенополистирола, в виде скорлуп или сегментов для изоляции прямых участков, стандартных отводов, фланцев и вентиляей.

Наружную поверхность теплоизоляции покрывают пароизоляционным слоем, являющимся одновременно и облицовочным (полимерными пленками, кашированными алюминиевой фольгой; стеклопластиком).

Испытанные и теплоизолированные трубопроводы окрашивают в опознавательные цвета, установленные отраслевой НТД.

Монтаж оборудования и технологических трубопроводов завершается испытанием и подписанием комиссией акта приемки работ.

Комплексное испытание и сдача в эксплуатацию. Комплексное испытание проводят для введения в исправное состояние холодильного, технологического, энергетического и санитарно-технического оборудования, систем вентиляции, автоматизации, а также установления заданного режима работы холодильной установки.

Производству работ предшествует изучение документации по возводимому объекту, переданной после приемки индивидуально испытанного оборудования, для контроля и подготовки к комплексному испытанию. Документация включает:

- технические паспорта;
- инструкции по эксплуатации и описания;
- акты освидетельствования скрытых работ;
- формуляры промежуточной приемки выполненных операций;
- акты индивидуального испытания на каждый компрессор, аппарат, линию технологического трубопровода и т. д.

Изучение проектной и технической документации позволяет:

- установить технические возможности смонтированной установки;
- составить необходимую документацию для проведения комплексного испытания;
- определить потребность в специалистах, инструментах, материалах;
- проверить соответствие смонтированной установки проекту, а выполненных работ монтажной документацией.

Перед заправкой холодильной установки хладагентом и рабочими веществами аппараты и трубопроводы очищают: полости хладагента продувают сжатым газом, а водяные и хладоносителя промывают водой.

Холодильные установки, использующие косвенное охлаждение, заполняются сначала хладоносителем, качество которого подтверждается документами.

Холодильные установки, работающие на хладагентах взаимно растворимых с маслом, заполняют сначала маслом. Качество заправляемого

го масла должно подтверждаться сертификатом и соответствовать стандарту.

Хладагенты поступают в баллонах, контейнерах (бочках), а аммиак может и в цистернах (автомобильной, железнодорожной). Сосуды, содержащие хладагент, должны быть в исправном техническом состоянии; быть окрашены в определенный цвет; иметь надпись определенного цвета и технический паспорт. Качество хладагента, находящегося в них, должно удостоверяться сертификатом и соответствовать стандарту.

Работы по заправке хладагентом проводятся в соответствии с особой инструкцией.

Холодильная установка, заправленная хладагентом и рабочими веществами, готовится к пуску. Пуску предшествуют проверка технического состояния и подготовка оборудования установки к включению в соответствии с инструкцией завода-изготовителя.

Первоначальный пуск холодильной установки проводят в определенной последовательности. Сначала включают оборудование, обеспечивающее конденсацию хладагента (насос, градирню, конденсатор), циркуляцию хладагента (насос, ресивер, охлаждающие устройства) и хладоносителя (насос, испаритель, охлаждающие устройства). Такая последовательность обеспечивает наиболее безопасные условия пуска, так как уменьшается давление нагнетания, снижается вероятность замерзания хладоносителя в испарителе и вскипания хладагента в циркуляционном ресивере. Затем включают компрессорные агрегаты.

Комплексное испытание холодильной установки начинают с наладки работы единичного оборудования (его частей, систем смазки и охлаждения) и проверки его функционирования. После введения оборудования в исправное состояние приступают к установлению рекомендуемого режима работы установки: температур воздуха в охлаждаемых объектах, температур хладоносителя и хладагента, разностей температур в теплообменных аппаратах и других параметров. Состав работ и программа их выполнения изложены в ППМР.

Сдача в эксплуатацию. Холодильная установка сдается в эксплуатацию в соответствии с программой сдаточного испытания, которая может быть различной. Например, установка может сдаваться в два этапа.

Цель первого этапа испытания — установление и поддержание проектных показателей, характеризующих работу установки, но без проектной тепловой нагрузки. Первый этап заканчивается, если в охлаждаемых объектах поддерживались проектные температуры и другие показатели при штатном (автоматическом или полуавтоматическом) режиме управления работой установки.

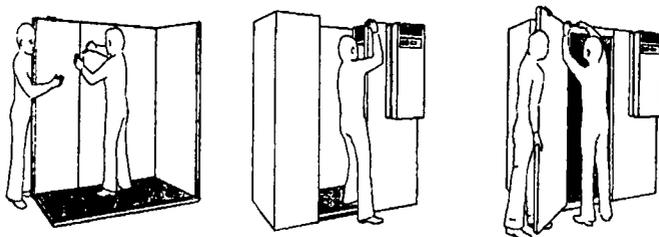


Рис. 16.1. Схема монтажа камеры

Окончанием второго этапа испытания является поддержание проектных величин показателей при безотказной работе холодильной установки уже при проектной тепловой нагрузке в течение 72 ч (для камер холодильной обработки в течение 1–2 циклов) при штатном режиме управления работой установки.

Рабочая комиссия проверяет качество и соответствие строительно-монтажных работ документации, производит приемку установки по акту, а также принимает решение о возможности предъявления акта приемочной комиссии.

После утверждения акта приемочной комиссией, в состав которой входят представители заказчика, генподрядчика, проектной организации, финансирующего банка, органов государственного санитарного, пожарного надзора, технической инспекции профсоюзов и др., холодильная установка считается введенной в эксплуатацию.

Заказчику (владельцу) передается вся документация: комплект чертежей с исправлениями и добавлениями, сделанными в процессе строительства и монтажа; техническая; монтажная (акты, формуляры, журналы контроля); пусконаладочная (акты, журналы наблюдений) и другая.

Особенности монтажа торговых холодильных установок. Торговое холодильное оборудование (кроме сборных камер) поступает от изготовителя в собранном виде. Сборные камеры собирают из панелей типа «сэндвич» на полу или бетонной плите (рис. 16.1), стыки панелей герметизируют, например силиконовой мастикой. В ней устанавливают воздухоохладитель или моноблочный холодильный агрегат, светильник, ее оснащают инвентарем и подключают к электрической сети.

Холодильные установки предприятий торговли и массового питания (торговые холодильные установки) меньше промышленных по холодопроизводительности, единичной мощности холодильных агрегатов (машин), числу оборудования, а также отличаются более высоким уровнем автоматизации и надежности, видом хладагента.

Основные положения производства монтажных работ и последовательность их выполнения одинаковы для промышленных и торговых холодильных установок. Так, монтаж торговых холодильных установок, как и больших промышленных, выполняется в соответствии с типовым или индивидуальным проектом.

Перед монтажом проверяют готовность помещений и фундаментов, соответствие проекту оборудования, его комплектность и техническое состояние, комплектность заводской технической документации. Оборудование устанавливают, выверяют и закрепляют на фундаменте, прокладывают трубопроводы, выполняют электромонтажные работы, проверяют прочность и герметичность системы. Установку заполняют хладагентом. После комплексного испытания и пусконаладочных работ холодильная установка сдается в эксплуатацию.

Однако оборудование таких холодильных установок имеет небольшую массу, работает на неядовитых, пожаро- и взрывобезопасных хладагентах и в автоматическом режиме управления, поэтому имеются некоторые особенности в монтаже.

Холодильные агрегаты могут размещаться в одном помещении (в машинном отделении) или рассредотачиваться по производственным, торговым и складским помещениям предприятия, располагаться на открытом воздухе. Эти помещения должны соответствовать требованиям правил техники безопасности, производственной санитарии, пожарной безопасности, например, в отношении строительного объема, массы содержащегося в агрегате хладагента, размещения оборудования, вентиляции и параметров воздуха, например, она не должна превышать 32 °С (для умеренного климата) или 42 °С (для тропического климата) и быть ниже 5 °С.

Монтаж агрегатов начинается с проверки и установки исправного оборудования на фундаменты (опоры). Фундамент может быть выполнен из бетона, металлопроката и деревянных брусьев в зависимости от динамической нагрузки, создаваемой компрессором. Фундаменты располагаются, как правило, на элементах строительных конструкций здания: на полу, на перекрытии, на капитальной стене. Поэтому с целью уменьшения уровней шума и вибрации между опорными частями агрегата и фундамента помещаются виброизолирующие опоры (металлические пружины, прокладки из резины или пластмассы).

Компрессорные агрегаты, создающие относительно большую динамическую нагрузку, устанавливают на виброизолирующих опорах и соединяют с трубопроводами через гибкие вставки (металлические или пластмассовые в металлической оплетке).

Охлаждающие приборы (батареи и воздухоохладители) размещают на опорах (кронштейнах), на стене или потолке камеры, выверяют и закрепляют.

Щиты с арматурой и теплообменниками (при их наличии) размещают на стене около агрегата.

Трубопроводы прокладывают после закрепления агрегатов, щитов с арматурой и теплообменниками и охлаждающих устройств. Трубопроводы изготавливают в основном из медных труб. Медные трубы должны быть отожжены для придания им пластичности и очищены химическим способом от окислов.

Для снижения уровня вибрации, которая вызывает шум и усталостное разрушение труб, трубопроводы соединяют с агрегатом через гибкие вставки и компенсаторы.

Если трубопроводы жесткие, то для гашения вибрации применяют гибкие вставки, размещаемые на трубопроводе (желательно его вертикальном участке) вблизи компрессора.

Прокладку трубопроводов начинают обычно со всасывающего трубопровода — от охлаждающих приборов к компрессору.

Горизонтальные участки прокладываются с уклоном не менее 0,02 в сторону компрессора для движения масла. При прокладке всасывающего трубопровода с подъемом по ходу движения хладагента перед подъемом делают маслоподъемную петлю с радиусом отвода (изгиба) равным приблизительно трем диаметрам трубы (рис. 16.2,а).

При прокладке жидкостного трубопровода ТРВ устанавливают по возможности ближе к охлаждающему устройству или распределителю жидкости (рис. 16.2,б) при его наличии. Термочувствительный патрон ТРВ размещают на всасывающем трубопроводе так, чтобы он воспринимал температуру только пара и особенно в период стоянки компрессора.

Если температура термочувствительного патрона будет значительно выше, чем охлаждающего прибора, то ТРВ откроется, что может привести к переполнению охлаждающего устройства жидким хладагентом.

Для улучшения теплообмена патрон крепится с помощью хомута, а если он находится вне охлаждаемого объема, то и теплоизолируется.

ТРВ с внешним уравниванием давления имеет уравнительную трубку, которая врезается во всасывающий трубопровод и обязательно за термочувствительным патроном по ходу движения хладагента на расстоянии 0,15–0,20 м (рис. 16.2).

Соленоидные вентили устанавливают на горизонтальном участке трубопровода электромагнитной катушкой вверх, а перед вентилем по ходу движения хладагента находится фильтр.

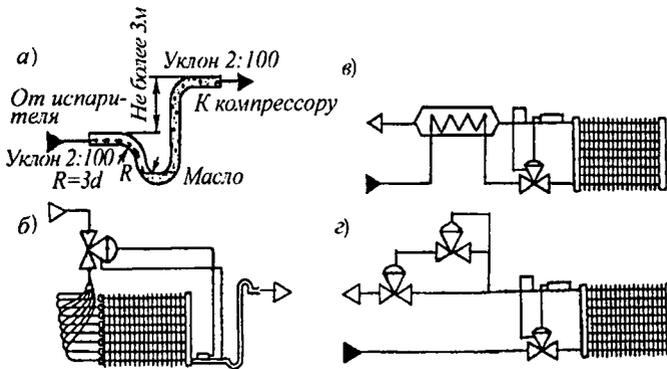


Рис. 16.2. Схемы маслоподъемной петли (а) и размещения ТРВ с внешним уравниванием при наличии: б — распределителя жидкости; в — теплообменника; г — регулятора давления с пилотным управлением

Электромонтажные работы, обычно включающие установку электропусковых и защитных приборов, прокладку кабелей и проводов электропитания, выполняют после прокладки трубопроводов.

Индивидуальное испытание оборудования и трубопроводов смонтированной установки проводят, как и промышленных, в соответствии с требованиями НТД.

Комплексное испытание. Холодильную установку готовят к пуску:

- контролируют электрическое напряжение сети;
- проверяют положение запорных вентиляей;
- устанавливают манометр и мановакуумметр (если они отсутствуют) на компрессоре;
- открывают ТРВ приблизительно на среднее значение перегрева и водорегулирующий вентиль на конденсаторе с водяным охлаждением на среднее значение подачи воды,
- задают значения уставок реле температуры и давления.

В процессе испытания установки корректируют настройку приборов автоматики. О правильности настройки ТРВ можно судить по внешним признакам, а также перегреву всасываемого хладагента, давлению всасывания. Так, поверхность охлаждающих приборов и участок всасывающего трубопровода в пределах камеры должны быть покрыты равномерным слоем инея. При низкой температуре кипения (-15°C) всасывающий трубопровод покрывается инеем до теплообменника, а при его отсутствии — до всасывающего вентиля.

При отсутствии в системе холодильной установки теплообменника, перегрев пара, выходящего из охлаждающих приборов должен быть: 7 K

из батарей и 12 К из воздухоохладителей. При наличии теплообменника перегрев должен составлять 1–2 К, если перед ТРВ установлен соленоидный вентиль, и 4–5 К, если вентиля нет. Давление хладагента, которое устанавливается через несколько минут после включения компрессора и поддерживается в течение 60–70% времени его работы, должно соответствовать рекомендуемому значению. Температура нагнетания не выше 80 °С. Реле температуры (или реле давления, если температура воздуха регулируется по давлению кипения) настраивают так, чтобы температура в камере поддерживалась в заданных пределах, разность температур воздуха в камере и кипения составляла 12–15 К при использовании батарей и 8–10 К при использовании воздухоохладителей. Коэффициент рабочего времени не должен превышать 0,75.

Водорегулирующий вентиль настраивают так, чтобы вода в конденсаторе нагревалась на 10–12 К зимой и 6–8 К летом. Температура конденсации хладагента обычно выше на 2–3 К температуры воды, выходящей из конденсатора. Реле низкого давления, выполняющего защитную функцию, настраивают на выключение компрессора при снижении давления кипения ниже рабочего на 15%. Реле высокого давления, тепловое реле магнитного пускателя и автоматического выключателя настраивают на заводе-изготовителе, поэтому их работоспособность только проверяют на срабатывание при значениях параметра, указанного в документации.

Работу сдаваемой в эксплуатацию холодильной установки контролируют 72 ч. Проверяют функционирование и режим работы установки. Холодильная установка, работающая без отказов, передается со всей документацией владельцу и подписывается акт сдачи установки в эксплуатацию.

16.2 Основы эксплуатации

16.2.1 Основные положения

Эксплуатация холодильной установки — это стадия ее жизненного цикла, на которой реализуется, поддерживается и восстанавливается ее качество.

Свойствами холодильной установки и ее элементов (а в общем случае объекта) являются, например, потребительские (производительность, площадь теплопередающей поверхности и т. д.), надежность, технологичность, безопасность и другие. Свойства выражаются, как правило, количественно параметрами, значения которых приводятся в нормативно-технической документации (НТД), например, в стандарте, технических условиях, техническом паспорте и других документах.

Совокупность параметров, характеризующих свойства объекта, изменяющихся в процессе эксплуатации и указанных в НТД, образует понятие *техническое состояние* объекта. Различают исправное, неисправное, работоспособное, неработоспособное и предельное состояния объекта. *Исправное состояние* объекта — это состояние, при котором он соответствует всем требованиям НТД. *Работоспособное состояние* — это состояние, при котором значения всех параметров, характеризующих способность выполнять заданные функции, соответствуют требованиям НТД.

Следовательно, работоспособный объект в отличие от исправного соответствует лишь тем требованиям НТД, выполнение которых обеспечивает применение объекта по назначению. Если объект не соответствует хотя бы одному из требований НТД, то находится в неисправном состоянии. Это событие называется *повреждением*. Очевидно, что работоспособный объект может быть неисправным, например, не удовлетворять эстетическим требованиям, если ухудшение внешнего вида не препятствует его применению по назначению. Переход объекта из исправного состояния в неисправное происходит вследствие несоответствия объекта одному из требований НТД, т. е. из-за *дефекта*. Если объект переходит в неработоспособное состояние, то это событие называют *отказом*.

На стадии эксплуатации объекта в общем случае осуществляют: использование по назначению, хранение, технологическое и техническое обслуживание. *Использование по назначению* — это функционирование объекта в соответствии с его назначением, (т. е. работа). *Технологическое обслуживание* представляет собой комплекс операций по подготовке к использованию по назначению объекта и приведению его в исходное состояние после этих процессов, не связанных с обеспечением надежности.

Техническое обслуживание — это комплекс операций по поддержанию исправности (или только работоспособности) объекта при использовании по назначению. Техническое обслуживание поддерживает работоспособность объекта в течение заданного периода. Но с течением времени объекты приходят в так называемое *предельное состояние*, при котором дальнейшее их использование должно быть прекращено по соображениям безопасности или экономической нецелесообразности.

Переход объекта в предельное состояние влечет за собой временное или окончательное прекращение его использования по назначению. Временное прекращение работы — это только на период проведения комплекса операций по восстановлению исправного или только работоспособного состояния, называемого *ремонтom*.

Совокупность факторов, воздействующих на объект при его эксплуатации, называется *условиями эксплуатации*. К ним относятся: природно-климатические; обеспеченность ресурсами (энергией, материалами, квалифицированным персоналом) и другие, которые могут вызвать ограничение или потерю работоспособности объекта.

16.2.2 Использование по назначению

Технологическое обслуживание. Холодильное оборудование промышленных установок требует проведения особых операций при пуске и остановке, не связанных с поддержанием надежности, называемых технологическим обслуживанием. Содержание и последовательность выполнения этих операций приводится в инструкции завода-изготовителя.

Существует ряд общих положений, которыми руководствуются на этом этапе эксплуатации. Так, пуску оборудования предшествуют проверки его технического состояния, включая контрольно-измерительные приборы; готовности линий трубопроводов, связывающих оборудование с работающими объектами, к подаче рабочих веществ, а при наличии электропривода меры, ограничивающие пусковой момент на валу и силу тока статора. Прежде всего выясняют причину остановки оборудования по записи в суточном журнале, так как остановка может быть связана с возникновением отказа.

Техническое состояние оборудования и контрольно-измерительных приборов проверяют в основном по внешним признакам, если нет особых указаний в инструкции. Запорно-регулирующую арматуру переводят в положение (открыто или закрыто), обеспечивающее функционирование оборудования и приборов автоматики. Если оборудование имеет электропривод, то проверяют прочность крепления защитного ограждения, заземляющего (зануляющего) провода, фундаментных болтов; плавность вращения валов; ограничивают нагрузку на электропривод путем уменьшения работы сжатия оборудования или перевода на холостой ход и подачи смазки в подшипники и сальники.

Подготовленное к пуску оборудование включают, контролируя определенные параметры и добиваясь их установления в заданных пределах. При выключении оборудования из работы те же операции, что и при пуске, но в обратной последовательности.

Режим работы. Эффективность использования холодильной установки предполагает количественную оценку ее технического состояния по показателям — эксплуатационным параметрам, совокупность которых составляет понятие режим работы.

Эксплуатационные параметры определяют в результате анализа проблемных ситуаций, возникающих в процессе работы холодильной

установки. Из выделенной совокупности параметров выбирают те, которые наиболее значимы в отражении основных свойств объекта (пригодности, экономичности, безопасности), удобны для измерений и расчетов.

Холодильная установка состоит из взаимосвязанных объектов: компрессоров, насосов, теплообменных и емкостных аппаратов и других, техническое состояние которых, характеризующееся совокупностью свойств, определяет техническое состояние установки в целом.

Анализ функционирования основного холодильного оборудования свидетельствует о том, что совокупность относительно небольшого числа эксплуатационных параметров: температуры t_0 или давления p_0 кипения; температуры t_k или давления p_k конденсации, температуры перед регулирующим вентилем t_n ; температуры охлаждающей воды t_w ; температуры охлаждающего воздуха t_b ; температуры хладоносителя t_s , определяемых посредством простых измерительных приборов, дает информацию о техническом состоянии основных элементов холодильной установки.

При выполнении заданных функций холодильная установка должна находиться в безопасном состоянии. Возникновение ситуаций, опасных для обслуживающего персонала, производства и окружающей среды связано, как правило, с утечкой большого количества хладагента и особенно в помещениях компрессорного и технологического цехов.

Следовательно, о безопасном состоянии холодильной установки можно судить по уровню хладагента в аппаратах, давлению и температуре хладагента и других рабочих веществ.

Таким образом, информация о безопасном состоянии отдельных элементов холодильной установки в целом может быть получена на основе эксплуатационных параметров, определяемых с помощью простых и доступных измерительных приборов.

Эксплуатационные параметры, определенные в результате качественного анализа ситуаций, объединяют на основе отражения одного или нескольких свойств и задают в результате количественного анализа ситуаций область их целесообразных значений. Примерами такого объединения параметров являются безопасный, оптимальный и рекомендуемый режимы.

Безопасный режим включает эксплуатационные параметры, предельно допустимые значения которых являются границей безопасной работы. Эти параметры должны быть указаны в эксплуатационной документации.

Так, опасным по последствиям, является влажный ход компрессора, за которым может последовать гидравлический удар. Предотвратить

влажный ход можно путем поддержания определенного уровня жидкого хладагента в ресиверах (циркуляционном, защитном), выполняющих функцию отделителя жидкости, и определенного значения перегрева пара, всасываемого в компрессор.

В связи с этим уровень жидкости не должен превышать значение, соответствующее 70%-ному заполнению ресиверов, выполняющих функцию отделителя жидкости, и промежуточного сосуда; 80%-ному заполнению ресиверов, не выполняющих функцию отделителя жидкости. Перегрев пара хладагента, всасываемого в компрессор, не должен превышать допустимое значение (для аммиака не менее: 5 К для одноступенчатых компрессоров и компрессора ступени высокого давления двухступенчатого агрегата; 10 К для компрессора ступени низкого давления двухступенчатого агрегата).

Высокое давление хладагента в аппаратах и трубопроводах является причиной появления утечек, поэтому оно не должно превышать предельно допустимое значение, указанное в НТД.

Давления нагнетания и всасывания компрессорных агрегатов также ограничены.

Высокая температура нагнетания компрессорных агрегатов увеличивает скорость окисления масла и износа деталей, поэтому она также ограничена.

Температура масла влияет на температуру нагнетания компрессора и условия смазки. В связи с этим температура масла не должна превышать предельно допустимого значения.

Итак, совокупность предельно допустимых значений эксплуатационных параметров определяет область условий безопасной работы установки. Конечно, безопасность функционирования необходима, но холодильная установка должна использоваться экономически обоснованно. В основе выработки мер по обеспечению эффективного функционирования холодильной установки может лежать концепция наилучшего использования имеющихся ресурсов (материальных, энергетических, финансовых).

Оптимальный режим является совокупностью эксплуатационных параметров или законов их изменения, характеризующих такое состояние холодильной установки, при котором на ее использование по назначению расходуется минимальное количество ресурсов (материальных, энергетических), выраженных обычно в виде суммы приведенных затрат.

Противоречивый характер изменения капитальных и эксплуатационных затрат позволяет выбрать один — наилучший из конкурирующих вариантов, которому соответствует минимальная сумма приведен-

ных затрат. Поиск наилучшего решения (т. е. оптимизация) предусматривает использование особых математических методов, обеспечивающих безусловное получение наилучшего результата.

Предварительно составляют математическую модель холодильной установки, отражающую технические и экономические характеристики и условия эксплуатации.

Итак, оптимальный режим определяют в результате учета большого числа данных и условий работы установки, поэтому он индивидуален для каждой конкретной холодильной установки.

Определение оптимального режима работы холодильной установки даже при квазистационарных условиях связано со значительными трудностями, например, математического описания функционирования холодильной установки, вычислительного характера. Поэтому при эксплуатации промышленных холодильных установок часто руководствуются концепцией не наилучшего, а пригодности, т. е. обеспечения функционирования холодильной установки на уровне не хуже требуемого. А требуемый уровень регламентируется обычно отраслевыми инструкциями, содержащими, в частности, рекомендации и по режиму работы.

Эксплуатационные параметры, входящие в этот режим, определены в результате статистического анализа и (или) оптимизации отдельных аппаратов холодильных установок. Такой режим часто называют оптимальным, но таковым он не является, поскольку получен без учета взаимного влияния объектов, работающих взаимосвязанно в составе холодильной установки.

Например, для аммиачных холодильных установок рекомендован такой режим. Разность температур воздуха в охлаждаемом помещении и кипения хладагента (или хладоносителя) должна быть $\theta_0 = 7-10$ К, а разность температур между средней температурой хладоносителя и температурой кипения $\theta_n = 3-5$ К. Охлаждение воздуха в воздухоохладителе должно составлять $\Delta t_a = 2-4$ К, а охлаждение хладоносителя в испарителе $\Delta t_s = 1-3$ К. Перегрев пара, всасываемого в компрессор, должен составлять $5-10$ К. В конденсаторе разность температур теплообменивающихся сред равна $\theta_k = 4-6$ К при водяном охлаждении и $10-25$ К при воздушном охлаждении. Нагрев охлаждающей среды должен составлять: $\Delta t_w = 2-4$ К воды и $\Delta t_b = 5-9$ К воздуха. Температура хладагента, выходящего из переохладителя, должна быть на $3-5$ К выше промежуточной температуры. Ведомственные нормы проектирования распределительных холодильников тоже содержат требования к выбору основных эксплуатационных параметров, значения которых близки к рассмотренным выше.

Управление работами холодильной установки. Техническое состояние холодильной установки изменяется в процессе работы под воздействием окружающей среды, рабочих процессов и других факторов, что проявляется в отклонении значений эксплуатационных параметров от рекомендуемых или оптимальных значений. Поэтому работой холодильной установки надо управлять для поддержания заданного режима работы.

Для обеспечения и поддержания режима работы нужно знать причины, приводящие к изменению эксплуатационных параметров, и закономерности функционирования холодильной установки. Охлаждаемое помещение как объект с изменяющимся тепловым состоянием воздуха может быть представлено так

$$dt_{\text{пм}}/dt = (Q_{\text{пр}} - Q_{\text{от}})/(M_{\text{в}}c_{\text{в}}), \quad (16.1)$$

где $Q_{\text{пр}}$ — теплоприток, равный в данном случае $Q_{\text{пр}} = Q_{\text{т}} = Q_{\text{н}} + Q_{\text{гр}} + Q_{\text{вн}}$; $Q_{\text{н}}$ — наружный теплоприток, проникающий через ограждения, равный

$$Q_{\text{н}} = k_{\text{н}}F_{\text{н}}(t_{\text{н}} - t_{\text{пм}}), \quad (16.2)$$

где $k_{\text{н}}$ — коэффициент теплопередачи ограждений; $F_{\text{н}}$ — площадь поверхности ограждений; $t_{\text{н}}$ — температура наружного воздуха; $Q_{\text{гр}}$ — теплоприток от груза; $Q_{\text{вн}}$ — внутренний теплоприток; $Q_{\text{от}}$ — теплоотвод, равный количеству теплоты, отводимому охлаждающими приборами в единицу времени $Q_{\text{от}} = Q_{\text{о}} = k_{\text{о}}F_{\text{о}}(t_{\text{пм}} - t_{\text{о}})$, $k_{\text{о}}$ — коэффициент теплопередачи; $F_{\text{о}}$ — площадь поверхности; $t_{\text{о}}$ — температура кипения; $c_{\text{р}}$ — удельная теплоемкость воздуха; $M_{\text{в}}$ — масса воздуха, находящегося в помещении.

Из уравнения (16.1) следует, что поддержание постоянной температуры (например, оптимальной) $t_{\text{пм}}$ возможно при соблюдении теплового баланса $Q_{\text{т}} = Q_{\text{о}}$. Если $Q_{\text{т}}$ начинает превышать $Q_{\text{о}}$, то температура $t_{\text{пм}}$ повышается, а если $Q_{\text{т}}$ уменьшается по отношению $Q_{\text{о}}$, то температура $t_{\text{пм}}$ понижается.

Равновесная температура $t_{\text{пм}}$ может изменяться по следующим причинам. Нарушение теплового баланса в виде $Q_{\text{т}} > Q_{\text{о}}$ происходит при увеличении $Q_{\text{т}}$ и (или) уменьшении $Q_{\text{о}}$. Теплоприток $Q_{\text{т}}$ увеличивается, если возрастают теплопритоки от различных источников: $Q_{\text{н}}$ из-за повышения температуры $t_{\text{н}}$ (чаще всего); $Q_{\text{гр}}$ из-за поступления груза с температурой выше номинальной и (или) в количестве, превышающем допустимую величину, и $Q_{\text{вн}}$ из-за превышения номинального значения, нормированных источников эксплуатационных теплопритоков.

Теплоотвод становится меньше, если уменьшаются k_o , F_o и увеличивается t_o . Причинами снижения k_o могут быть: отложение масла на теплообменной поверхности со стороны хладагента; образование инея на поверхности охлаждающих приборов; отложение соли, продуктов коррозии и намерзание льда на поверхности испарителя со стороны хладоносителя; уменьшение скорости движения воздуха, хладоносителя.

Площадь теплообменной поверхности F_o , а точнее эффективная, омываемая теплообменивающимися средами, может уменьшаться по следующим причинам:

- недостаточная подача хладагента и хладоносителя;
- накопление большого количества масла, которое занимает часть вместимости аппарата;
- зарастание межреберного пространства инеем у охлаждающих приборов с оребренной поверхностью.

Причины изменения t_o будут рассмотрены ниже.

Теплоприток Q_t становится меньше теплоотвода Q_o , если Q_t уменьшается и (или) Q_o увеличивается. Теплоприток Q_t уменьшается, если уменьшаются теплопритоки от различных источников: Q_n , $Q_{гр}$, $Q_{вн}$. Возрастание Q_o в рассматриваемой ситуации возможно вследствие понижения температуры кипения t_o , так как k_o и F_o могут увеличиться только в результате целенаправленных действий.

16.2.3 Техническое обслуживание промышленных холодильных установок

В процессе эксплуатации на холодильную установку воздействует энергия окружающей среды, включая обслуживающий и ремонтный персонал, и внутренних источников, связанных с совершением процесса сжатия хладагента и хладоносителя, а также аккумуляровавших энергию. При передаче механической, электромагнитной, внутренней, химической энергии в форме работы и теплоты в элементах холодильной установки возникают процессы разной природы, сопровождающиеся действием сил, которое приводит к изменению их начальных свойств. Например, к компрессору, насосу, вентилятору подводится механическая энергия для совершения рабочего процесса. Здесь действию механической силы подвержена вся кинематическая цепочка. В результате изменяются свойства элементов холодильной установки.

Исключить нежелательное изменение свойств (старение) элементов холодильной установки нельзя. Но знание причины и сущности процессов старения позволяет использовать установку так, чтобы исправность (или только работоспособность) сохранялась в течение заданной наработки.

Процессы старения приводят к ухудшению технического состояния объекта. Но изменение свойств может носить обратимый характер, если оно связано, например, с упругой деформацией материала, отложением продуктов коррозии и разложения масла, образованием накипи, засорением фильтров и т. д. Повреждения и отказы, вызванные такими явлениями, могут быть устранены в результате выполнения комплекса относительно простых и нетрудоемких операций, называемого техническим обслуживанием.

Техническое обслуживание обычно включает контроль технического состояния объекта, операции профилактического характера (очистка, смазывание, регулирование и др.) и замену дефектных элементов.

Технический контроль, цель которого проверка исправности (или только работоспособности) на промышленных холодильных установках, осуществляет штатный дежурный персонал, который визуально (т. е. при помощи органов чувств) и с помощью измерительных средств следит за состоянием установки, периодически регистрирует в суточном журнале (при отсутствии автоматической регистрации) режим работы и на основе значений параметров и признаков функционирования принимает решения по управлению установкой.

Компрессорные агрегаты. Техническое состояние компрессорных агрегатов контролируют путем измерения эксплуатационных параметров, визуально и с помощью технических средств по признакам функционирования, например, по наличию течей, состоянию масла, шуму, вибрации и др.

Утечку хладагента определяют с помощью индикаторов, течеискателей и газоанализаторов, а место утечки — посредством индикатора или течеискателя. Герметичность сальника проверяют по количеству капель масла, вытекающих в единицу времени.

Работа механизмов сопровождается механическими и акустическими колебаниями. Как правило, работоспособному состоянию оборудования соответствуют определенные уровни вибрации и шума.

О состоянии трущихся сопряжений (сальникового уплотнения, подшипников скольжения и качения) можно получить информацию по температуре поверхности корпуса или температуре смазочного масла.

В процессе работы смазочное масло окисляется, частично разлагается, загрязняется продуктами износа и разложения. В результате оно теряет свое качество. И по этой причине необходим контроль состояния масла с целью замены при достижении им предельно допустимого состояния, указанного в НТД.

Работоспособность смазочной системы характеризуется рядом признаков, указанных в НТД. Например, уровнем масла в картере поршне-

вого и маслоотделителя винтовых компрессоров, разностью давлений до и после насоса, температурами масла в картере поршневого, на входе и выходе из винтового компрессора, герметичностью насоса, состоянием масла.

Смазочные материалы. Смазочные материалы (масла), применяемые для смазки компрессоров, могут быть минеральными и синтетическими. Наиболее распространены минеральные масла на основе нефти. Основой синтетических смазочных материалов могут быть, например, алкилбензол, полигликоли, полиэферы и другие вещества.

Масла на основе синтетических веществ имеют более высокие показатели свойств, но дороже минеральных масел. Универсальных холодильных смазочных материалов, в одинаковой степени удовлетворяющих противоречивым требованиям к маслам, пока не существует. Предпочтение отдается маслу, которое взаимно растворяется с хладагентом при прочих равных условиях.

В настоящее время применяют: минеральные масла при работе на хладагентах R717, R744, R290, R600a и новые синтетические масла на основе полиэфиров и полиалкиленгликолей при работе на гидрофторуглеродах (R134a, R32, R125), их бинарных (R507, R410A) и тройных смесях (R404A, R407C), которые растворимы в них

Центробежные насосы. При работе центробежных насосов контролируют в общем случае: давления нагнетания и всасывания (или их разность), герметичность соединений, уровни шума и вибрации, наличие смазки, температуры сальника и подшипников.

Разность давлений, создаваемая насосом, или только давление нагнетания, если давление всасывания постоянно, характеризует объемную подачу насоса. Уменьшение давления, развиваемого насосом, может происходить по следующим причинам: возрастает утечка вследствие износа колеса и корпуса; увеличивается гидравлическое сопротивление сети.

Увеличение уровня шума и вибрации насоса обычно связано с подсосом воздуха через течи сальника и всасывающего трубопровода, кавитацией и расцентровкой валов.

Повышение температуры (свыше 60 °С) подшипников обычно вызвано ухудшением режима смазки.

Для центробежных герметичных насосов предусмотрен технический осмотр с периодичностью не реже одного раза в три месяца.

Конденсаторы. Техническое обслуживание испарительных конденсаторов включает контроль следующих параметров:

— давления и температуры конденсации;

- температур подпиточной и охлаждающей воды;
- температуры и влажности воздуха, поступающего в конденсатор;
- герметичность соединений;
- состояние водораспределительного устройства (угол распыла форсунок, равномерность орошения водой пучков труб);
- уровни шума и вибрации.

При техническом обслуживании водяных конденсаторов периодически измеряют: температуру и давление конденсации, температуры воды на входе и выходе из аппарата; проверяют герметичность соединений, в том числе труб в аппарате, по присутствию хладагента в воде, выходящей из конденсатора; периодически удаляют масло из аммиачных конденсаторов.

При техническом обслуживании воздушных конденсаторов периодически контролируют:

- температуру и давление конденсации;
- температуры воздуха на входе и выходе из аппарата;
- уровни шума и вибрации;
- герметичность соединений.

При ежеквартальном техническом осмотре проверяют состояние вентиляторов, арматуры, контрольно-измерительных приборов, очищают поддон испарительных, крышки кожухотрубных конденсаторов от загрязнений, моют раствором поверхность батарей воздушных конденсаторов.

Испарители. При работе испарителей, предназначенных для охлаждения хладоносителя, периодически фиксируют температуру и давление кипения; температуру пара, выходящего из испарителя; температуры хладоносителя на входе и выходе, а также проверяют уровни хладагента и хладоносителя, герметичность соединений по присутствию хладагента в хладоносителе, концентрацию хладоносителя в растворе.

Периодически в зависимости от условий эксплуатации в хладоноситель могут вводить ингибитор коррозии; из полости хладагента удаляют масло, предварительно прогрев аппарат; выпускать воздух из закрытых испарителей через воздушные краны на крышках аппарата.

Регламентированный технический осмотр, проводимый через три месяца, предусматривает проверку работоспособности контрольно-измерительных приборов, состояния арматуры, протекторов электрохимической защиты от коррозии и мешалок в открытых испарителях и аккумуляторах.

Охлаждающие устройства. При техническом обслуживании охлаждающих устройств визуально контролируют заполнение их хладагентом (или хладоносителем) по наличию и толщине инея.

Работоспособность охлаждающих приборов обеспечивают периодическим оттаиванием инея и удалением из них масла.

Регламентированное техническое обслуживание воздухоохладителей с периодичностью раз в три месяца включает проверку сопротивления обмотки электродвигателя (не менее 0,5 МОм), прочности крепления заземляющего провода, наличия консистентной смазки в подшипниках.

Емкостные аппараты (сосуды). При техническом обслуживании линейных, дренажных, защитных, циркуляционных ресиверов и промежуточных сосудов периодически измеряют давление хладагента, а у промежуточных сосудов еще перегрев выходящего из аппарата пара; проверяют положение уровня жидкого хладагента.

Периодически из аппаратов удаляют масло, если оно не растворяется в хладагенте, а из линейного ресивера удаляют и воздух, если нет автоматического воздухоотделителя, контролируют герметичность аппаратов.

Регламентированный технический осмотр, проводимый ежеквартально, предусматривает проверку состояния контрольно-измерительных приборов и арматуры аппаратов.

Технологические трубопроводы. Техническое состояние внутрицеховых трубопроводов периодически проверяет обслуживающий персонал, визуально контролируя состояние сварных швов, фланцевых соединений, опор, подвесок, теплоизоляции, антикоррозионной защиты и т. д.

Торговое холодильное оборудование (ТХО). В процессе работы ТХО контролируют температуру воздуха в охлаждаемом объеме, уровень шума и вибрации при наличии встроенного холодильного агрегата, степень загрузки охлаждаемого объема. Обычное ТХО предназначено только для хранения предварительно охлажденных или замороженных продуктов. Загруженные продукты в открытом оборудовании не должны выходить за пределы охлаждаемого объема, чтобы не нарушать работу воздушной завесы.

Периодически проводят технические осмотры: еженедельно — открытого высокотемпературного и среднетемпературного оборудования; ежемесячно — закрытого оборудования и ежеквартально — низкотемпературного оборудования.

ТХО отключают от электрической сети. Продукты выгружают. Удаляют легко снимающийся инвентарь (полки, решетки и др.) и загрязнения, скопившиеся на дне поддона. Наружные поверхности оборудования, окрашенные или из некорродирующего металла, протирают влажной тряпкой, смоченной моющим раствором, а затем сухой. Алюминиевые поверхности протирают вначале влажной тряпкой, а затем сухой. Внутренние поверхности оборудования и инвентарь моют раствором, ополаскивают водой и сушат.

Оттаивание охлаждающих устройств. Образование инея на теплопередающей поверхности охлаждающих приборов приводит к увеличению передаваемого теплового потока только в течение первого часа работы. В последующие часы работы по мере роста толщины слоя инея передаваемый тепловой поток уменьшается по экспоненциальному закону. Поэтому охлаждающие устройства необходимо оттаивать, чтобы поддерживать приемлемое значение теплового потока.

Если рассматривать циклическую работу охлаждаемого помещения за достаточно большой промежуток времени, то можно заметить, что частое оттаивание улучшает теплопередачу охлаждающих приборов, а значит увеличивает их тепловой поток и уменьшает затраты, связанные с функционированием охлаждающих приборов. Но при этом возрастают затраты энергии и непроизводительного времени, связанные с оттаиванием. И наоборот, чем реже оттаивают охлаждающие приборы, тем меньше их тепловой поток и больше затраты на функционирование, но меньше затраты энергии и непроизводительного времени.

Следовательно, существует оптимальная периодичность оттаивания, при которой обеспечиваются, например, минимальные затраты на работу или максимальный тепловой поток охлаждаемого помещения. Решить эту оптимизационную задачу трудно из-за сложностей исследования процесса инееобразования. Поэтому на практике руководствуются принципом пригодности — не ниже заданного уровня эффективности.

Считается, что снижение плотности теплового потока охлаждающих приборов в результате образования инея не должно превышать 15–20 % от максимального его значения. А конкретным показателем начала процесса оттаивания могут быть толщина слоя инея (для воздухоохладителей приблизительно 2 мм) или падение давления в воздушном тракте воздухоохладителя (приблизительно 0,15 кПа).

Оттаивание охлаждающих устройств камер промышленных предприятий осуществляют в основном горячим паром хладагента, нагнетаемого компрессорами. Оттаивание проводит обслуживающий персонал компрессорного цеха в соответствии с утвержденным графиком, руководствуясь особой инструкцией.

Так, перед оттаиванием батарей груз, расположенный под ними, укрывают (например брезентом), чтобы предотвратить ухудшение его товарного вида и облегчить последующее удаление талой воды и опавшего инея.

Батареи камеры выключают из режима охлаждения, закрыв соответствующие вентили на жидкостном и паровом коллекторах. В дренажном ресивере снижают давление, открыв вентиль на трубопроводе, соединяющем его с циркуляционным ЦР (или защитным) ресивером. Вентиль остается в открытом положении в течение всего процесса оттаивания, если на дренажном трубопроводе установлен, например, поплавковый регулятор уровня высокого давления (ПРУВД), исключающее поступление пара высокого давления из охлаждающих приборов в дренажный ресивер и обеспечивающее дренирование конденсата по мере его накопления в корпусе ПРУВД.

После снижения давления в дренажном ресивере открывают запорные вентили на дренажном трубопроводе и на трубопроводе подачи горячего пара. При оттаивании охлаждающих приборов давление, показываемое манометром на оттаивательном коллекторе ОК, не должно превышать значение испытательного давления, установленного для данных охлаждающих батарей.

Процесс оттаивания заканчивается, когда теплопередающая поверхность охлаждающих приборов освобождается от инея.

После оттаивания прекращают подачу горячего пара и дренирование конденсата, закрыв соответствующие запорные вентили. Батареи камеры включают в режим охлаждения, открыв соответствующие вентили.

Собранный в дренажном ресивере хладагент выдерживается некоторое время для того, чтобы повысилась температура и произошло расслоение хладагента и масла. Масло из дренажного ресивера удаляют в маслосборник, а оставшийся жидкий хладагент перекачивают в охлаждающие устройства через распределительный коллектор регулирующей станции, закрыв вентиль на линии подачи жидкого хладагента из линейного ресивера.

Оттаивание воздухоохладителей горячим паром хладагента проводят аналогично оттаиванию батарей. На период оттаивания закрывают всасывающий и нагнетательный вентили, выключают электродвигатели вентиляторов воздухоохладителей, открывают вентили на оттаивательном и дренажном трубопроводах. Поддон и трубопровод, по которому из поддона отводится вода, образовавшаяся при плавлении инея, нагреваются медленнее, чем теплопередающие трубы. Поэтому трубопровод для отвода воды, обогреваемый обычно гибкими электронагревателями,

начинают нагревать на 15–20 мин раньше, чем трубы. Горячий пар подают сначала в змеевик поддона, а затем в трубы.

Оттаивание воздухоохладителей с помощью электронагревателей выполняют в такой последовательности. В дренажном ресивере снижают давление, соединив его с циркуляционным (защитным ресивером). Воздухоохладители переключают на режим оттаивания — отключают от испарительной системы, выключают электродвигатели вентиляторов, соединяют с дренажным ресивером и включают электронагреватели. После оттаивания воздухоохладители переключают на режим охлаждения, выполняя операции в обратной последовательности. А через некоторое время из дренажного ресивера удаляют масло и хладагент.

Защита от коррозии. Элементы холодильной установки, соприкасающиеся с загрязненным атмосферным воздухом, хладонносителем, водой, грунтом, подвержены разрушающему действию различных видов коррозии, которая сокращает срок их службы, а в теплообменных аппаратах продукты коррозии, отлагаясь на теплопередающей поверхности, увеличивают термическое сопротивление.

Скорость коррозии, измеряемая обычно толщиной разрушенного материала (мм), зависит от вида материала (его стандартного равновесного потенциала), состава среды и внешних условий (температуры, давления, скорости движения). Например, скорость атмосферной коррозии возрастает с увеличением влажности атмосферы в присутствии газообразных (HCl , SO_2 , NH_3 , Cl_2) примесей. Скорость электрохимической коррозии увеличивается: в кислой среде, при повышении температуры и скорости движения среды, при воздействии блуждающих электрических токов и наличии контакта с другими металлами.

Для защиты от коррозии элементов холодильной установки применяют различные способы: изолируют металл от коррозионной среды, покрывая его поверхность слоем коррозионностойкого материала; снижают коррозионную активность среды; используют ингибитор (вещество, замедляющее скорость коррозии); изменяют коррозионный (стандартный) потенциал металла.

Защита металла от коррозии путем нанесения слоя грунтовки, краски, лака и эмали применяется наиболее широко. Лакокрасочное покрытие выполняет защитную функцию, если слой непрерывен, что не всегда возможно. Покрытие из синтетической пластмассы (фенольной, силиконовой) небольшой толщины прочнее и долговечнее лакокрасочного и применяется все чаще.

Поверхность охлаждающих приборов, воздушных и испарительных конденсаторов оцинковывают, иногда поверхность теплопередающих труб воздухоохладителей и конденсаторов плакируют (покрывают) сло-

ем алюминия. Такие покрытия защищают сталь и при нарушении целостности слоя, так как являются протектором, воздействуя на стационарный потенциал металла.

Коррозионная активность среды может быть снижена следующим образом:

- поддержанием целесообразного значения водородного показателя ($\text{pH} = 7-12$ для углеродистой стали, $\text{pH} = 7$ для алюминия);

- уменьшением концентрации O_2 , H_2 , ионов тяжелых металлов и галогенов и других;

- уменьшением влажности воздуха; предотвращением конденсации влаги на поверхности;

- понижением температуры, давления и скорости движения.

Ингибиторы применяют главным образом в системах охлаждения с постоянным или мало обновляемым количеством агрессивной среды. Например, для защиты от коррозии теплопередающей поверхности аппаратов, трубопроводов со стороны воды, хладоносителя, циркулирующих по замкнутому контуру. Ингибиторами коррозии могут быть органические (амины, аминокислоты, декстрины, меркаптаны) и неорганические (хроматы, фосфаты) вещества.

Защиту металла изменением его стационарного потенциала называют электрохимической. Она наиболее эффективна и применяется тогда, когда другие способы не обеспечивают требуемую долговечность защищаемого объекта. Электрохимическая защита осуществляется поляризацией от внешнего источника тока или путем соединения с металлом (протектором), имеющим более отрицательный или более положительный потенциал, чем у защищаемого металла. Поляризация — изменение потенциалов металла и раствора (катада — в сторону более отрицательного значения, а анода — в сторону более положительного значения), наблюдаемое при прохождении электрического тока через электрохимическую систему. Смещая потенциал металла от равновесного состояния в нужном направлении, т. е. уменьшая разность потенциалов, которая установилась между металлом и раствором, можно снизить скорость коррозии.

На холодильных установках применяют в основном катодную защиту посредством анодного протектора. Для защиты объектов из углеродистой и низколегированной стали используют протекторы из алюминиевых (марки АП1, АП3) и цинковых (марки ЦП1, ЦП3) сплавов. А для защиты объектов из сплавов на основе меди и никеля применяют протекторы из стали (марки Ст0, Ст3).

Протекторы имеют ограниченный радиус защитного действия, например, для прямого участка трубы он не превышает 2 м, а для изогнутого — вдвое меньше. Поэтому на защищаемом объекте крепится некоторое количество протекторов.

Защитное действие протектора тем лучше, чем меньше электрическое сопротивление в зоне контакта (не более 0,02 Ом). Поэтому место крепления должно быть зачищено и обезжирено. Анодный протектор разрушается в месте контакта, поэтому необходим периодический контроль за прочностью крепления и степенью разрушения протектора. Протектор, разрушенный более чем на 40% от первоначальной массы, заменяют.

Здание холодильника. Помещения холодильника в процессе эксплуатации подвергается воздействию внешней среды, солнечной радиации, переменной температуры воздуха, атмосферных осадков) и внутренних факторов, связанных с функционированием (низкая температура и высокая влажность воздуха, статическая и динамическая нагрузка). Поэтому происходит старение ограждающих и несущих элементов холодильника, проявляющееся в виде деформации конструктивных элементов, разрушения конструктивных, паро- и гидроизоляционных материалов и теплоизоляционных материалов, увлажнения теплоизоляционных материалов.

В результате снижения теплозащитного свойства, герметичности и прочности несущих и теплоизоляционных конструкций увеличиваются затраты на отвод тепла из охлаждаемых помещений, возрастают потери продуктов, связанные с нарушением технологического режима и санитарного состояния помещений.

Поэтому необходимо контролировать техническое состояние здания холодильника, его охлаждаемых помещений и проводить соответствующие работы, не допуская ухудшения теплозащитных свойств ограждений ниже предельно допустимого значения.

Техническое обслуживание здания холодильника предусматривает проведение сезонных осмотров: основных конструктивных и ограждающих элементов раз а квартал, а всех элементов два раза в год — весной для уточнения объема работ по текущему ремонту теплоизоляционных ограждений, проводимых летом; осенью для подготовки к работе в зимних условиях.

При осмотре выявляют состояние:

- покрытия (разрыв, вздутие, продавливание кровельного ковра);
- противопожарных поясов;
- стен (трещины, выпучены, местное увлажнение, наледь);

- перекрытий (горизонтальность полов, выбоины, увлажнение, наледь);
- несущих элементов каркаса (трещины, вертикальность и горизонтальность положения);
- теплоизоляционных дверей (плотность прилегания);
- системы обогрева грунта.

Кроме визуального проводят и инструментальный контроль:

- теплозащитных свойств ограждающих конструкций;
- прочности и деформации несущих элементов каркаса;
- системы обогрева грунта.

Местное увлажнение наружной или внутренней стены указывает на наличие разрывов в паро- и теплоизоляционных слоях. Увлажнение наружной стены в местах расположения швов между панелями несущих элементов каркаса (колонна, пристенная балка перекрытия), часто проявляющиеся в зимнее время при оттепелях свидетельствует об ухудшении теплоизоляционных свойств конструкции. Образование инея и наледи на поверхности стен со стороны коридоров и вестибюлей указывает на поступление теплого наружного воздуха.

Появление инея на потолках камер с более высокой температурой, чем в расположенных выше, свидетельствует об уменьшении термического сопротивления перекрытий.

Просадка и вспучивание пола, расположенного на грунте, указывают на ухудшение теплоизоляционного свойства пола и промерзание грунта.

Причины, вызывающие увлажнение поверхности, трещины в конструкциях, деформацию конструкций и пола, выявляют и устраняют.

Теплозащитные свойства ограждающих конструкций определяют способами разрушающего и неразрушающего контроля. Способ разрушающего контроля предполагает отбор проб (образцов) из ограждающих конструкций, например, с помощью шлямбура, исследование их свойств (теплопроводность, влажность, прочность) и распространение этих свойств на всю конструкцию. Способ неразрушающего контроля основан на измерении теплового потока, проходящего через ограждающую конструкцию, с помощью измерителя тепловых потоков и расчете по его значению термического сопротивления конструкции. При использовании этого способа целостность конструкции не нарушается, но и он дает только локальное значение измеряемого теплового потока.

Этого недостатка лишен способ, предполагающий бесконтактное измерение температуры поверхности ограждения с помощью прибора, называемого тепловизором. В зоне видимости его чувствительного элемента — приемника инфракрасного излучения — может находиться

большая площадь поверхности ограждения (например, вся стена многоэтажного холодильника), о равномерности температурного поля которой судят по цвету и оттенку на экране дисплея. Выявленные участки с пониженной температурой исследуют детально.

Система обогрева грунта. Техническое обслуживание системы обогрева грунта состоит из контроля за температурным режимом грунта под зданием холодильника, за техническим состоянием элементов системы обогрева, например, трансформатора при электрообогреве; теплообменника-нагревателя и насоса при жидкостном обогреве, а также работ по поддержанию их в исправном состоянии.

Санитарная обработка и дезинфекция охлаждаемых помещений и их оборудования. Производственные помещения (камеры, накопители, коридоры, грузовые платформы и др.), включая находящееся в них оборудование, а также транспортные и грузоподъемные средства должны соответствовать не только техническим требованиям, но и требованиям производственной санитарии. Соблюдение санитарно-гигиенических норм и требований обеспечивается проведением санитарного контроля при производстве, хранении и транспортировании пищевых продуктов, а также выполнением санитарной обработки и дезинфекции помещений и оборудования. Средством санитарного контроля является химико-бактериологический анализ, осуществляемый лабораторией.

Текущую санитарную обработку проводят после окончания каждой смены, при остановке технологического процесса и в случае простоев свыше 1 ч. При санитарной обработке очищают поверхность оборудования и ограждений от остатков продукта механическим путем, промывают сначала прохладной (20–25 °С), а затем горячей водой (70–90 °С) и ополаскивают прохладной водой.

При дезинфекции, обычно проводимой раз в неделю, поверхность сначала механически очищают, промывают прохладной водой, моют горячим раствором (70–90 °С), затем наносят дезинфицирующий состав, а по прошествии 15–20 мин его смывают горячей водой и ополаскивают прохладной водой. Качество дезинфекции проверяет бактериологическая лаборатория. Микробиологический контроль санитарного состояния поверхностей регламентируется инструкцией. Так, контроль камер с температурой воздуха –12 °С проводят раз в квартал, а с температурой выше указанной — два раза в квартал. Санитарные требования к помещениям и оборудованию изложены в санитарных правилах.

Для поддержания надлежащего санитарного состояния стены и потолки камер должны иметь гладкую поверхность без щелей, быть окрашены или покрыты моющимися панелями. Полы должны быть водоне-

проницаемы, без щелей и выбоин. Поверхности стен, полов и дверей, интенсивно загрязняющиеся при работе, очищают не реже одного раза в смену. Жирные и загрязненные полы и двери в камерах и коридорах при температуре воздуха выше нуля моют горячим моющим раствором и вытирают досуха.

Охлаждающие устройства камер периодически оттаивают. В камерах, оборудованных охлаждающими батареями, продукты, расположенные под батареями, предварительно укрывают брезентом или полимерной пленкой, чтобы предохранить их от опадающего снега и талой воды, а затем удалить из камеры. Холодильные камеры после освобождения от груза и перед закладкой новой партии груза дезинфицируют.

Воздуховоды обрабатывают растворами в течение 40 минут, а затем промывают водой, контролируя водородный показатель смывной воды с помощью фенолфталеина. Примером такого раствора является водный, содержащий 6% жидкого стекла, 4% кальцинированной соды, 2–3% триполифосфата натрия и 0,6% синтамида-5.

Скороморозильные аппараты моют и дезинфицируют при оттаивании. Мойка аппарата включает следующие операции: механическую очистку; промывку теплой водой; обезжиривание; промывка теплой водой; протирку досуха и смазку пищевым жиром. Для мойки и обезжиривания используют в основном водные щелочные растворы, например, 1–2%-ный кальцинированной соды или 0,1–0,2%-ный каустической соды.

Дезинфекция аппарата предполагает проведение таких операций: обработку поверхности дезинфицирующим раствором (орошением, протиркой); выдержку в течение 30–40 мин; промывку водой; сушку протиркой и смазку пищевым жиром.

Для дезинфекции широко применяют хлорсодержащие вещества (хлорная известь, хлорамин, гипохлориты калия и натрия, дихлордиметилгидантоин), четвертичные аммониевые соли и др. Хлорная известь применяется в сухом виде (расход 1 кг на 1 м² поверхности), в виде раствора, содержащего 0,5–1% активного хлора (расход 1–0,1 дм³ на 1 м²); хлорамин используют в виде 0,2–1%-ного раствора (расход 1 дм³ на 1 м²).

В качестве моющих средств применяют кальцинированную соду (0,5–1%-ный раствор), каустическую соду (0,5%-ный раствор для обработки оборудования и 10%-ный раствор для обработки помещений).

16.2.4 Техническое обслуживание торговых холодильных установок

Малые холодильные установки предприятий торговли и массового питания работают автоматически, поэтому не требуют постоянного присутствия обслуживающего персонала. Ежедневное наблюдение за функционированием холодильной установки (например, уровнем шума и вибрации, наличием масляных пятен) и некоторые операции технического обслуживания (содержание в чистоте поверхности оборудования, очистка воздушного конденсатора, оттаивание охлаждающих приборов) выполняет представитель владельца. Он же вызывает специалиста-механика при отказах холодильной установки.

Техническое осмотры проводятся периодически в соответствии с графиком раз в 1–3 месяца в зависимости от особенностей установки персоналом специализированного предприятия, с которым владелец предприятия заключает договор.

При техническом осмотре выполняют следующее. Оборудование останавливают на 2–4 ч. Визуально контролируют состояние: теплоизоляционных ограждающих конструкций камер, шкафов, прилавков и витрин; холодильного оборудования; приборов автоматики, электрического оборудования. Проверяют прочность крепления оборудования на фундаменте и проводов заземления (зануления); силу натяжения ремней клиноременной передачи, герметичность оборудования и трубопроводов; наличие влаги в системе с помощью индикатора влажности.

Измеряют параметры режима работы установки: температуру воздуха в охлаждаемом объеме с помощью термометра в моменты включения и выключения агрегата; давление (температуру) кипения хладагента с помощью мановакуумметра, давление (температуру) конденсации с помощью манометра в моменты включения и выключения агрегата; температуру воды на входе и выходе из конденсатора; время, в течение которого агрегат работает и стоит. Проверяют настройку TRV по давлению кипения и наличию инея на поверхности всасывающего трубопровода и охлаждающих приборов.

Определяют наличие воздуха в системе, герметичность соединений, герметичность всасывающего и нагнетательного клапанов, поршневых колец, искрение и нагрев электропусковой аппаратуры.

Анализируют режим работы холодильной установки: точность поддержания температуры воздуха в охлаждаемом объеме $t_{\text{пим}}$, разность температур $\theta_0 = t_{\text{пим}} - t_0$, температуры (давления) кипения и конденсации, перегрев на всасывании, разность температур $\theta_k = t_k - t_{w2}$, нагрев воды в конденсаторе Δt_w , коэффициент рабочего времени холодильного

агрегата. Выявляют отклонения от заданного режима работы и дефекты оборудования. Проводят работы по поддержанию работоспособного состояния холодильной установки: подстраивают приборы автоматики (реле температуры, реле давления, ТРВ, водорегулирующий вентиль); устраняют утечки хладагента (не более 0,5 г в год); пополняют хладагентом систему; хладагент осушают и очищают от загрязнений с помощью фильтра-осушителя, очищают от загрязнений системы водяного охлаждения и оттаивания; подтягивают приводные клиновые ремни агрегатов; регулируют зазор между вентилятором и диффузором конденсатора и воздухоохладителя; заменяют дефектные детали и т. д. Выполненные работы указывают в журнале технического обслуживания, а факт осмотра подтверждают актом.

16.2.5 Ремонт

Основные определения. Техническое обслуживание обеспечивает работоспособное состояние объекта в течение относительно небольшого (по сравнению с полным сроком службы) промежутка времени. неизбежно наступает предельное состояние и возникает необходимость в более глубоких по характеру восстановления утраченной работоспособности целенаправленных действий, в частности, совокупности рабочих операций.

Комплекс операций, связанных с восстановлением исправности или работоспособности объекта и его технического ресурса или ресурса его составных блоков (частей), называется ремонтом.

Поскольку части объекта достигают предельного состояния не одновременно вследствие различия в свойствах материалов, действующих нагрузок, случайного характера отказов, то и состав восстановительных работ, их объем и степень восстановления ресурса должны быть различными. В связи с этим существуют различные виды ремонта, например, текущий, средний и капитальный.

Текущий ремонт предназначен для обеспечения и восстановления работоспособности объекта путем воссоздания или замены наименее долговечных частей.

Средний ремонт предназначен для восстановления исправности и частичного восстановления ресурса объекта путем воссоздания и (или) замены уже более долговечных частей.

Капитальный ремонт предназначен для восстановления исправности, полного (или близкого к полному) ресурса путем воссоздания и (или) замены любых его частей, включая базовые.

Виды ремонта и технического обслуживания связаны во времени (существуют месячные и годовой графики) и дополняют друг друга,

обеспечивая работоспособность объекта в заданных условиях эксплуатации.

Ремонт каждого объекта проводят в соответствии с технологическим процессом ремонта.

Схема обобщенного технологического процесса ремонта. Эта схема основного холодильного оборудования включает следующее: оценку технического состояния; отключение от системы; сдачу в ремонт; разборку; очистку и мойку; дефектацию; восстановление работоспособного состояния; сборку; испытание и сдачу в эксплуатацию.

Перед остановкой на ремонт уточняют техническое состояние объекта значениям контролируемых параметров и по внешним признакам функционирования. Работоспособность приборов автоматики, установленных на объекте, проверяют на срабатывание во время функционирования объекта. Обнаруженные дефекты заносят в ведомость дефектов.

Отключение объекта. Перед вскрытием объект освобождают от рабочей среды (хладагента, масла, хладоносителя, воды) и продувают сжатым воздухом. С объекта снимают предохранительный клапан, контрольно-измерительные приборы, протекторы электрохимической защиты, а на патрубки ставят заглушки. От магистральных трубопроводов объект отключают посредством заглушек с прокладками, устанавливаемыми между фланцами трубопроводов, и запорными вентилями.

Сдача в ремонт. Объект с необходимой ремонтной документацией (ведомостью дефектов, руководством по ремонту), комплектом запасных частей и вспомогательных материалов, передают в ремонт.

Разборка объекта. Объект разбирают в общем случае на сборочные единицы и детали в соответствии с ремонтной документацией. Объем (глубина) разборки зависит от вида ремонта.

Очистка и мойка. Эти технологические операции проводятся неоднократно в процессе ремонта, так как они создают необходимые условия для выполнения других работ. Детали очищают щетками и ветошью, а моют в основном щелочным раствором или растворителем.

Дефектация. Этот процесс поиска дефектов позволяет выявить техническое состояние деталей и узлов и рассортировать их на работоспособные, требующие восстановления и не подлежащие восстановлению.

Восстановление (воссоздание) деталей и узлов. На данном этапе технологического процесса предполагается восстановление деталей и узлов путем изготовления новых деталей, регулирования узлов и выполнения других ремонтных операций.

Сборка. Она состоит в последовательном соединении в соответствии с ремонтной документацией деталей и сборочных единиц, а также

в проверке взаимного положения деталей и регулировании (настройке) функционально связанных узлов.

Испытание объекта. Эта технологическая операция позволяет в общем случае выявить дефекты сборки, ввести в работоспособное состояние функциональные узлы, поверить герметичность и прочность объекта или его узлов.

Сдача в эксплуатацию. Объект в исправном состоянии, с восстановленным техническим ресурсом сдается в эксплуатацию, что подтверждается актом.

16.2.6 Ремонт теплоизоляционных ограждающих конструкций

Мероприятия технического обслуживания не могут исключить ухудшения свойств теплоизоляционных ограждающих конструкций холодильника. Поэтому при достижении предельно допустимого состояния при уменьшении рекомендуемого значения их термического сопротивления на 30–50% в зависимости от вида конструкции и условий эксплуатации возникает необходимость ремонта.

Сложившаяся практика предусматривает проведение двух видов ремонта: текущего и капитального, отличающихся только объемом восстановительных работ.

При текущем ремонте восстанавливают не более 10% от площади поверхности ограждения. Необходимость проведения ремонта и глубина восстановительных работ могут быть установлены в результате сопоставления возрастающих затрат на эксплуатацию холодильной установки, на потери массы и качества хранящихся продуктов, с затратами на ремонт ограждающей конструкции.

Затраты на ремонт, видимо, должны как минимум компенсироваться сокращением затрат на эксплуатацию холодильной установки, потери массы и качества продуктов.

Проектное значение термического сопротивления изоляционной ограждающей конструкции можно восстановить, уменьшив влажность теплоизоляционного материала, добавив необходимое термическое сопротивление к имеющемуся и заменив увлажненный теплоизоляционный материал.

На практике при ремонте теплоизоляционных ограждений традиционной конструкции, состоящей из несущего нагрузку, паро- (гидро-), газо-, теплоизоляционного и отделочных слоев, применяют два последних варианта. Дополнительное термическое сопротивление создают, накладывая теплоизоляционный слой на существующий (ремонтируемой) конструкции как со стороны охлаждаемого помещения (с холодной стороны), так и с наружной (теплой) стороны.

Ремонт ограждающих конструкций путем замены теплоизоляционного материала является традиционным. Перед ремонтом охлаждаемые помещения, ограждения которых подлежат ремонту, выключают из режима охлаждения, при необходимости демонтируют охлаждающие устройства. Удаляют последовательно облицовочный, теплоизоляционный и пароизоляционный слои ограждающей конструкции. Помещения прогревают до температуры не ниже 10°C , чтобы влага не конденсировалась на поверхности.

При замене тепловой изоляции восстанавливают и пароизоляционный слой конструкции. На подготовленную поверхность наносят пароизоляционный слой. Затем выполняют теплоизоляционный слой из плиточного материала, заливочного или напыляемого материала (полиуретана) и отделочный слой (пластмассовые, алюминиевые листы).

При изготовлении теплоизоляции напылением (из полиуретана) требуемая толщина создается послойным напылением композиции с помощью пеногенератора. За один проход получается слой пены (изоляции) толщиной 20–40 мм, а последующий слой можно наносить через 2 мин. Поверхность последнего (еще не затвердевшего) слоя пены выравнивают и устанавливают отделочный слой. Напылением можно создавать теплоизоляционный слой на поверхности любой конфигурации, но при этом расходуется большое количество дорогих веществ.

Конечно, выполнение ремонта традиционным способом позволяет восстанавливать первоначальные характеристики теплоизоляционных конструкций, но вследствие большой трудоемкости ремонта холодильника или часть его камер не используется в течение нескольких месяцев.

Ремонт теплоизоляционных ограждающих конструкций путем установки дополнительного теплоизоляционного слоя на существующей конструкции с внутренней стороны предполагает одновременный или последовательный вывод охлаждаемых помещений из работы, но в отличие от рассмотренного выше он менее трудоемок и требует меньшего расхода теплоизоляционного материала.

Материал дополнительного теплоизоляционного слоя должен иметь большее паропроницание, чем материал основного слоя. А существующая конструкция должна иметь непрерывный пароизоляционный слой с сопротивлением паропроницания не меньше проектного значения.

Ремонт, заключающийся в установке дополнительного теплоизоляционного слоя на наружной поверхности стен фасадов позволяет: восстановить теплозащитные свойства ограждающих конструкций без прекращения работы ремонтируемых помещений; использовать теплозащитные свойства существующей конструкции и тем самым сократить затраты средств; увеличить долговечность холодильника вслед-

ствие улучшения условий работы охлаждающих и несущих конструкций здания; улучшить архитектурное оформление фасадов здания.

Перед ремонтом исследуют техническое состояние восстанавливаемых конструкций и определяют толщину дополнительного слоя теплоизоляции. Ремонтируемые ограждающие конструкции не должны иметь дефектов, связанных с деформацией, усадкой или вспучиванием грунта, а несущие конструкции здания холодильника должны находиться в работоспособном состоянии и иметь несущую способность, допускающую нагрузку от дополнительных теплоизоляционного и отделочного слоев.

Толщину дополнительного слоя теплоизоляции находят, учитывая нормативное R_n и фактическое R_f термические сопротивления конструкции, а также теплопроводность наносимого материала λ_d .

$$\delta_d = \lambda_d(R_n - R_f). \quad (16.3)$$

Отделочный (внешний) слой должен защищать теплоизоляцию от механического повреждения, атмосферных осадков; быть непрерывным пароизоляционным слоем с сопротивлением паропрооницанию равным нормативному значению; иметь небольшой коэффициент поглощения солнечной радиации и приемлемый архитектурно-декоративный вид.

Технология создания дополнительного теплоизоляционного слоя может быть различной — с использованием плиточных, заливочных, напыляемых материалов, а также панелей типа «сэндвич». Наиболее технологичным в производстве является использование заливочного материала.

Иногда для экономии дорогого заливочного материала (полиуретана) в опалубку закладывают плиты из относительно дешевого материала (пенополистирола), занимающего приблизительно 30% вместимости. В этом случае добавочный слой должен быть закреплен анкерными болтами.

Использование панелей дает некоторые преимущества: сокращаются объем работ и расход дорогого заливочного материала; не требуется специальная оснастка. Однако конструкция получается немонолитная и конвективное движение воздуха в щелях уменьшает термическое сопротивление дополнительного слоя на величину, зависящую от режима движения воздуха, в среднем в 1,7 раза больше расчетного значения.

16.2.7 Ремонт торговых холодильных установок

Холодильное и торговое холодильное оборудование малых холодильных установок, как и больших, поддерживают в работоспособном состоянии и восстанавливают работоспособность путем проведения мероприятий технического обслуживания и ремонта.

Технический осмотр и ремонты проводит персонал специализированных предприятий. Осмотр и текущий ремонт оборудования выполняются на месте его эксплуатации, средний и капитальные ремонты обычно на специализированном предприятии.

При текущем ремонте кроме операций технического осмотра выполняют следующие. Демонтируют электродвигатель сальникового компрессора или вентилятора воздушного конденсатора бессальникового или герметичного компрессора. Подшипники электродвигателя очищают и заменяют смазку. Теплопередающую поверхность конденсатора очищают моющим раствором.

У сальникового компрессора заменяют приводные ремни, если они растянулись или расслоились.

Проверяют работоспособность электропусковой аппаратуры, очищая контакты от нагара, регулируя сопряжения и заменяя дефектные детали.

Проверяют герметичность дверей охлаждаемых секций торгового холодильного оборудования, регулируя запорные устройства и заменяя дефектные детали.

При отказах, которые невозможно устранить на месте эксплуатации, отказавший объект демонтируют и направляют для ремонта на специализированное предприятие, где отказавший объект проходит полный технологический цикл ремонтных операций на специализированных участках предприятия.

При среднем ремонте компрессорного агрегата (или машины) производят следующее. Агрегат (машину) демонтируют на блоки, которые разбирают, промывают, очищают для дефектации узлов и деталей. Заменяют прокладки, пластины и пружины клапанов, а также другие детали (поршневой палец, втулку верхней головки шатуна, сальник, шатунные болты и т. д.), имеющие дефекты.

Восстанавливают при необходимости блок-картер, цилиндры, коленчатый вал, клапанную доску, а также запорные вентили, конденсатор, ресивер, испаритель, теплообменник.

При капитальном ремонте компрессорного агрегата, кроме операций среднего ремонта входят следующие. Заменяют гильзы цилиндров, поршни, клапанные плиты в сборе или их детали, сальник в сборе или его детали, подшипники. Восстанавливают блок-картер, коленчатый вал, конденсатор, ресивер, испаритель, теплообменник.

Собранный компрессор обкатывают вхолостую и под нагрузкой на стенде. Восстановленные арматура, теплообменные и емкостные аппараты испытывают давлением на прочность и герметичность.

Собранный компрессорный агрегат обкатывают под нагрузкой на хладагенте, проверяют на герметичность, настраивают приборы автоматической защиты. Работоспособный агрегат окрашивают и направляют на склад.

16.2.8 Ремонт холодильников и морозильников

В течение гарантийного срока службы возникшие отказы устраняют фирмы гарантийного ремонта, имеющие договор с фирмой-изготовителем.

В послегарантийный период ремонт холодильников и морозильников осуществляют специализированные ремонтные фирмы по индивидуальным заказам.

Ремонт бытового холодильного оборудования обычно проводят на месте (на дому). Для выполнения восстановительных работ в таких условиях существуют переносные комплекты ремонтного (для резки, пайки, вакуумирования, сбора загрязненных хладагента и масла) оборудования, заправочные (маслом, хладагентом) и измерительные (электрических параметров, герметичности, уровня шума) стенды, материалы и др.

Работы выполняются в соответствии со схемой технологического процесса ремонта. В число выполняемых операций входят, например, проверка герметичности холодильного агрегата, дефектация холодильного агрегата, вскрытие системы и сбор загрязненных хладагента и масла, промывка и сушка системы, замена дефектных элементов, пайка трубопроводов, предварительная проверка системы на герметичность, дозированная заправка системы маслом и хладагентом с помощью стенда, проверка герметичности, обкатка компрессора, контроль режима работы холодильника.

После ремонта показатели работоспособности оборудования должны соответствовать данным технического паспорта.

ПРИМЕНЕНИЕ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ И ХРАНЕНИИ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ

Потребителями холода являются технологические объекты, от которых отводят теплопритоки с целью поддержания заданного режима (температура объекта, относительная влажность воздуха в объекте, скорость движения среды, продолжительность холодильной обработки и др.). Температура охлаждаемых объектов, как правило, ниже, чем температура окружающей среды.

Потребители холода подразделяются по характеру производства, которое оказывает основное влияние на особенности выработки и использования холода: мясо-, птице-, рыбо-, молоко-, фрукто- и овощеперерабатывающее, пивоваренное, винодельческое, кондитерское, хлебопекарное.

В производстве виноградных вин особое внимание уделяется хранилищам, где поддерживаются стабильная температура (8–12 °С) и относительная влажность воздуха, способствующая созреванию вин при пониженном окислении. Хранение винограда производится при температуре 0–2 °С. В производстве изюма применяется холод при сушке (–10... – 15 °С). Виноградный сок-полуфабрикат хранится при температуре 0... – 1 °С, что позволяет обеспечить его высокое качество. В технологическом процессе холод используется в процессах фильтрации, осветления, брожения, отдыха вин. При выработке сиропов может применяться вымораживание. При обработке холодом виноградных вин следует учитывать температурный уровень и скорость понижения температуры, влияющие на энергичность коагуляции винных кристаллов и осаждения коллоидов.

17.1 Мясная промышленность

На предприятиях мясной промышленности низкие температуры используют:

- для охлаждения мяса, субпродуктов, жиров и других продуктов переработки скота (технической и медицинской продукции);
- для охлаждения мясопродуктов при выработке колбас, копченостей, полуфабрикатов;
- для хранения охлажденного мяса и мясопродуктов;

- для переохлаждения (подмораживания) и хранения переохлажденного мяса;
- для замораживания и хранения мяса, субпродуктов, полуфабрикатов и готовых мясных блюд, эндокринно-ферментного сырья;
- для изготовления льда и охлаждения рассолов для колбасного производства, для технологического кондиционирования в производственных помещениях;
- для сублимационной сушки мяса и мясопродуктов.

Охлаждение мяса, мясопродуктов. Мясо крупного рогатого скота в полутушах и четвертинах, свинину в полутушах и туши мелкого скота охлаждают в камерах и туннелях сразу после первичной обработки непрерывно или циклически. Процесс охлаждения может быть различным по способу его организации: одностадийным (параметры охлаждающего воздуха постоянны) и двух- или трехстадийным (параметры воздуха различны на каждой стадии); по значениям параметров охлаждающего воздуха. В зависимости от скорости охлаждения полутуш различают медленное, быстрое и ультрабыстрое охлаждение.

Процесс охлаждения выбирают таким, чтобы при высоком качестве мяса были меньше продолжительность процесса и потери массы мяса, а в итоге были меньше затраты на обработку. Сделать это непросто, так как процесс зависит от многих факторов: температуры, влажности и скорости движения воздуха, жирового покрова, толщины охлаждаемого продукта.

Существующие нормативы, определяющие понятие охлажденного мяса, обычно регламентируют только верхнее значение температуры в термическом центре бедренной (самой толстой) части полутуши, например, по нормативам отечественным — это 0–4 °С, а стран ЕС — это 7 °С.

Продолжительность холодильной обработки и, в частности, охлаждения можно сократить, интенсифицируя теплообмен. В общем случае теплообмен на поверхности осуществляется конвекцией, тепловым излучением и массообменом (испарением влаги). Обычно теплообмен интенсифицируют за счет конвекции путем увеличения скорости движения воздуха и (или) понижения его температуры. Но однозначного решения нет ввиду влияния на процесс многих факторов. Так, увеличение скорости движения воздуха влечет увеличение затрат на охлаждающую систему камеры (расход электроэнергии на привод вентилятора пропорционален кубу скорости движения воздуха) и холодильную установку, а также скорости испарения влаги с поверхности. Понижение температуры воздуха связано с повышением затрат на холодильную установку и

может вызвать подмораживание поверхностных слоев мяса, что недопустимо для охлажденного мяса. Кроме того, следует учитывать и термическое сопротивление продукта (толщину продукта), которое ограничивает время охлаждения.

Поэтому процесс теплообмена интенсифицируют путем увеличения тепловых потоков излучением за счет установки радиационных батарей и испарением за счет искусственного увлажнения поверхности. Конечно, их доля в общем тепловом потоке меньше, чем конвективного, но они значительно сокращают потерю массы (усушку) продукта.

Отечественной инструкцией по охлаждению мяса рекомендуется следующая продолжительность охлаждения полутуш говядины, свинины и туш баранины массой соответственно 110, 45 и 30 кг при температуре воздуха -3°C , скорости движения на уровне бедер 0,8 м/с от начальной температуре 35°C до конечной $0-4^{\circ}\text{C}$ соответственно 16, 13 и 7 ч.

По зарубежным данным продолжительность одностадийного охлаждения полутуш до 7°C составляет 6–24 ч в зависимости от вида мяса и режима охлаждения.

При многостадийном охлаждении интенсивность теплоотвода уменьшается по мере перехода к последующей стадии. Сочетание температуры и скорости движения воздуха на стадиях ограничивается возможностью подмораживания поверхности и значением среднеобъемной температурой. Чем выше скорость движения воздуха и ниже его отрицательная температура на стадии, тем короче стадия. Однако при этом неравномерность температурного поля мяса будет большой, высокой будет и среднеобъемная температура. В итоге процесс охлаждения не будет короче.

По зарубежным данным продолжительность двухстадийного процесса охлаждения свинины до 7°C : на первой стадии при температуре -20°C , скорости движения воздуха 2,7 м/с в течение 1,5 ч и на второй — при температуре 4°C и скорости движения воздуха 0,3 м/с составило 21,5 ч.

Камеры охлаждения в зависимости от реализуемого процесса могут быть периодического и непрерывного действия. Они представляют собой теплоизолированное помещение по отечественным нормативам шириной 6 м и длиной до 24 м, оборудованное охлаждающей системой, подвесным путем, конвейером. Охлаждающие системы камер, включающие охлаждающие устройства, воздуховоды и дефлекторы, могут быть различными.

Воздуховоды и дефлекторы предназначены для распределения охлаждающего воздуха так, чтобы обеспечивалась требуемая скорость обду-

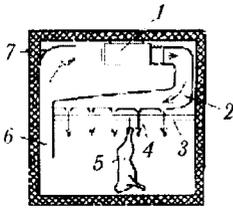


Рис. 17.1. Схема камеры холодильной обработки с подвесными воздухоохладителями:

1 — воздухоохладитель; 2 — воздуховод; 3 — подвесной путь; 4 — щелевые сопла; 5 — мясная полтуша; 6 — всасывающий канал; 7 — дефлектор

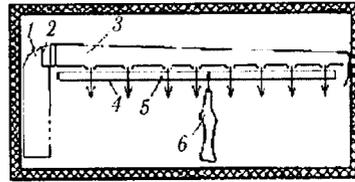


Рис. 17.2. Схема камеры холодильной обработки с постаментными воздухоохладителями:

1 — воздухоохладитель; 2 — коллектор; 3 — нагнетательные воздуховоды; 4 — подвесной путь; 5 — щелевые сопла; 6 — мясная полтуша

ва поверхности продукта, причем, каждая полтуша мяса должна находиться в совершенно одинаковых условиях со всеми другими. Вид системы воздухораспределения выбирают в зависимости от типа воздухоохладителей и объемно-планировочного решения камеры.

Так, в камерах, оборудованных подвесными воздухоохладителями, установленными поперек камеры, используют систему, показанную на рис. 17.1.

Воздухоохладитель 1 нагнетает воздух через воздуховод 2 постоянного статического давления, который располагается по всей площади камеры над подвесным путем 3. В нижней образующей воздуховода имеются щелевые сопла 4, выполненные в виде пирамиды с углом раскрытия 22° , располагающиеся на одинаковом расстоянии друг от друга, из которых истекает воздух со скоростью 6–10 м/с, обдувая полтуши мяса 5 в зоне бедренной части со скоростью не менее 1 м/с. Воздух всасывается в воздухоохладитель, проходя всасывающий канал 6 и дефлектор 8, поворачивающий поток воздуха на 90° в направлении всасывающего окна воздухоохладителя 1.

Камера с постаментными воздухоохладителями и продольным движением воздуха показана на рис. 17.2.

Воздухоохладитель 1 нагнетает воздух через коллектор 2 в воздуховоды 3 постоянного статического давления, расположенные над подвесным путем 4 между его нитками (путями). Воздух через поперечные щелевые сопла 5 межпутевых воздуховодов направляется на бедренную часть полтуш 6, оmyвает ее со скоростью не менее 1 м/с и снизу через всасывающее окно поступает в воздухоохладитель 1.

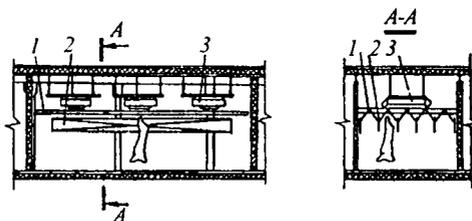


Рис. 17.3. Схема камеры холодильной обработки с подвесными воздухоохладителями и радиационными межрядными батареями:

1 — балки подвесного пути; 2 — радиационные межрядные батареи; 3 — подвесной воздухоохладитель

Камера, оборудованная подвесными воздухоохладителями и радиационными межрядными батареями, показана на рис. 17.3.

Воздухоохладители 3 с помощью дефлекторов, расположенных с двух сторон, направляют поток воздуха на полутуши и всасывают его в центральной части. В результате образуются два поперечных циркуляционных кольца. Радиационные панельные батареи в самой теплонапряженной области обеспечивают интенсивный теплоотвод, что позволяет уменьшить скорость движения воздуха и обойтись без воздухопроводов. Тепловой поток излучением может составлять 30–40% конвективного и обеспечивать снижение потери массы мяса на 20–25%.

Камеры охлаждения, оборудованные кроме охлаждающей еще особой системой орошения водой поверхности полутуш, также нашли промышленное применение, так как позволяют значительно снизить потерю массы. По зарубежным данным, если процесс охлаждения сопровождается периодическим орошением полутуш водой в количестве 0,25 кг на полутушу каждые 20 мин в течение первых 6 часов, то потеря массы меньше по сравнению с традиционным теплоотводом в 2,3 при медленном и 1,8 раза при быстром охлаждении.

Охлаждение и хранение субпродуктов. Их охлаждают в камерах или туннелях, оборудованных охлаждающими системами, подвесными путями, этажерками, вешалами, стеллажами, тележками со стеллажами. Рекомендуемый режим охлаждения: температура воздуха в камере $-1 \dots -2$ °С, в туннеле -1 , скорость движения до 0,8 м/с. При этом время охлаждения до температуры в центре 0–4 °С составляет не более 24 ч в камере и 4 ч в туннеле.

Охлажденные субпродукты хранят в камерах при температуре воздуха $-1 \dots -4$ °С и относительной влажности 80%.

Охлаждение и хранение жира животного топленого пищевого. Топленые пищевые животные жиры, упакованные в бочках, ящиках, банках и мелкой расфасовки, охлаждают и хранят в специально пред-

назначенных для этих целей камерах при температурах от 0 до -12°C и ниже.

Охлаждение и хранение колбасных изделий. Вареные колбасы, сосиски и сардельки охлаждают в камерах и туннелях в подвешенном состоянии на рамах, перемещаемых по подвесным путям.

В процессе приготовления колбасного фарша для его охлаждения в куттеры (измельчители) добавляют пищевой водный лед. Колбасный фарш охлаждают в камере при температуре $0-4^{\circ}\text{C}$ в течение 18–24 ч.

Перед тепловой обработкой колбасы выдерживают в осадочных камерах при температуре $4-8^{\circ}\text{C}$ и относительной влажности 85%. После тепловой обработки вареные колбасы, сардельки и сосиски охлаждают в две стадии: сначала орошают (обычно циклично) мелкодисперсной водой, затем воздухом с температурой $-10 \dots -12^{\circ}\text{C}$ при скорости движения до 3 м/с. Далее рамы с колбасными изделиями помещают в камеру хранения с температурой воздуха 8°C и относительной влажностью 95%.

Полукопченые и сырокопченые колбасы хранят в камерах при температуре 12°C и относительной влажности 75%.

Вареные окорока и готовые кулинарные изделия хранят в камере при температуре 4°C и относительной влажности 85%.

Колбасные изделия и копчености сушат в камерах при температуре 12°C и влажности 75%.

Некоторые помещения и камеры колбасного и кулинарного производств (для подготовки сырья и фарша, сушильная камера) оборудованы системой кондиционирования воздуха.

Подмораживание и хранение переохлажденного мяса. Переохлажденным (подмороженным) по отечественной инструкции считается мясо, температура которого в толще бедра $0-3^{\circ}\text{C}$, на глубине 1 см от поверхности не ниже -4°C , а толщина подмороженного слоя не более 2,5 мм.

Это мясо используют в основном для промышленной переработки на мясоперерабатывающих предприятиях.

Переохлаждение осуществляют в камерах, предназначенных для замораживания мяса.

Режим обработки рекомендуется следующий: температура воздуха -30°C и скорости его движения 0,8 м/с. Продолжительность переохлаждения мяса при этом должна составлять 6,5 ч — для говядины; 4 ч — для свинины и 2 ч — для баранины.

Подмороженное мясо хранят в камере в подвешенном состоянии на подвесных путях или в стоечных поддонах, либо навалом на поддонах при температуре -2°C , относительной влажности 90%.

Замораживание и хранение замороженного мяса. Мясо крупного рогатого скота в полутушах и четвертинах, свинину в полутушах и туши мелкого скота замораживают в камерах и туннелях, а мясо жилованное остывшее или охлажденное и сортовые отруба замораживают в морозильных аппаратах.

Процесс замораживания может быть однофазный и двухфазный. Однофазное замораживание предполагает, что замораживается парное мясо с начальной температурой в толще мышц бедра не ниже 35°C до конечной -8°C . Если замораживается охлажденное мясо (с температурой в толще мышц бедра $0-4^{\circ}\text{C}$), то такой способ называется двухфазным.

Камеры замораживания аналогичны камерам охлаждения (рис. 17.1–17.3). Они отличаются только более низкой температурой воздуха и более мощными воздухоохладителями. Рекомендуемая продолжительность однофазного замораживания мяса при температуре воздуха -35°C и скорости его движения $0,8$ м/ч: 23 — говяжьих полутуш массой до 110 кг; 18 — свиных полутуш массой не более 45 кг и 14 — бараньих туш массой не более 30 кг. А продолжительность двухфазного замораживания при тех же условиях и для тех же видов мяса составит соответственно 18, 14 и 11 ч.

Нормативами некоторых европейских стран рекомендуется замораживать предварительно охлажденное мясо в виде полутуш и четвертин при температуре не ниже -30°C , например, говядину от 7 до -7°C или ниже, свинину от 4 до -15°C и ниже. При этих условиях и скорости движения воздуха до 3 м/с продолжительность замораживания обычно не превышает 24 ч.

В некоторых странах принято замораживать полутуши и четвертины завернутые в полимерную пленку толщиной не менее $0,05$ мм. Это увеличивает время замораживания приблизительно на $60-85\%$ в камерах и на $25-40\%$ в туннелях.

Субпродукты замораживают в камерах и морозильных аппаратах, устройство которых аналогично камерам, предназначенным для их охлаждения.

Хранение замороженного мяса. Оно хранится в камерах: в полутушах и тушах навалом на напольных решетках в плотном штабеле; в четвертинах и отрубках в стоечных поддонах. Традиционный режим работы камер хранения: температура воздуха не выше -18°C , относительная влажность $95-98\%$ и скорость движения от $0,15$ до $0,3$ м/с. Но в настоящее время чаще применяют более низкую температуру воздуха до -30°C . Это приводит к дополнительным капитальным и эксплуатационным затратам, но они окупаются за счет сокращения потери массы

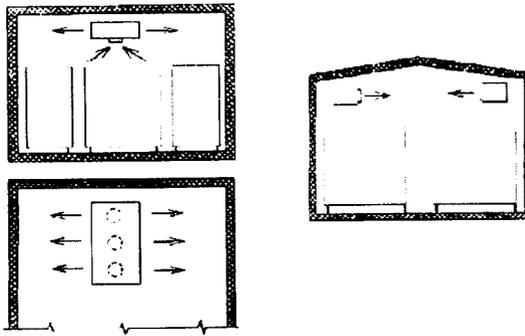


Рис. 17.4. Камера хранения с подвесными воздухоохладителями

продукта от испарения. Кроме того, улучшаются внешний вид мяса, его органолептические показатели и срок хранения.

Хранение неупакованного замороженного мяса сопровождается испарением влаги с поверхности вследствие теплопритока. Поэтому при длительном его хранении стремятся уменьшить интенсивность испарения путем уменьшения теплопритока к продукту, понижения температуры хранения и уменьшения скорости движения воздуха у поверхности продукта.

Существует два типа камер хранения, отличающихся отводом теплопритока: с внутрикамерным и внекамерным отводом теплоты. В камерах первого типа батареи и (или) воздухоохладители, расположенные в верхней части охлаждаемого объема, отводят теплоприток от воздуха, воспринявшим теплоту при прохождении через охлаждаемый объем. В камерах второго типа охлаждающие устройства перехватывают теплоприток от ограждений

К первому типу относится камера, представленная на рис. 17.4.

Это распространенное решение для камер хранения одноэтажного холодильника. Воздухоохладители создают интенсивное движение холодного воздуха в самой теплонапряженной зоне у потолка. Скорость движения в зоне расположения продукта минимальна.

Представителем второго типа является камера, схема которой показана на рис. 17.5.

Камера имеет воздушную оболочку, образованную теплоизолированным ограждением и панелями из пластика или металла. В этом продукте находится воздухоохладитель и циркулирует, охлаждаемый им воздух, воспринимающий внешний теплоприток. Ширина продуха небольшая 0,1–0,15 м, а высокая скорость движения воздуха (0,7–1,5 м/с) обеспечивает небольшой его нагрев (0,5–2 К).

Если внутреннего теплопритока нет, то в грузовой части камеры поддерживается такая же температура, как и в продухе. Следовательно, нет теплопритока, а значит и потери массы продукта. В действительности внутренний теплоприток обычно есть, имеется и потеря массы мяса, но значительно меньшая, чем в традиционной камере хранения.

Замораживание и хранение пельменей и фрикаделек. Пельмени и фрикадельки замораживают до температуры в центре не выше -10°C : на стальной ленте непрерывного конвейера пельменного аппарата; на противнях и лотках, размещенных на полках тележек или на рамах в морозильных аппаратах. Продолжительность замораживания при температуре $-30 \dots -35^{\circ}\text{C}$ и скорости движения $1-2$ м/с, $0,8$ ч — на противнях и $0,6$ ч — на стальной ленте.

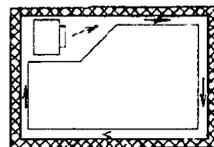


Рис. 17.5. Схема камеры хранения с воздушной рубашкой

Замороженные пельмени и фрикадельки хранят упакованными в специально предназначенных для этой цели камерах при температуре не выше -10°C в течение не более 30 сут.

17.2 Молочная промышленность

В свежесвыдоенном молоке содержатся бактерицидные вещества, в результате действия которых в первые часы количество микроорганизмов может снижаться. Продолжительность бактерицидной фазы увеличивают охлаждением свежесвыдоенного молока. При 37°C продолжительность этой фазы составляет 2 ч, при 10°C уже достигает 24 ч, а при 0°C — 49 ч. Жизнедеятельность большинства молочнокислых бактерий приостанавливается при температуре $2-3^{\circ}\text{C}$.

Молоко рекомендуется охлаждать как можно раньше. Поэтому во многих странах мира, в том числе и в России молоко принято охлаждать непосредственно на фермах до $2-6^{\circ}\text{C}$. Молоко охлаждают в емкостных аппаратах (рис. 17.6, 17.7), а также в пластинчатых охладителях (по устройству аналогичны ранее показанным испарителям). Иногда молоко охлаждают во флягах, которые помещают в ванны, заполненные охлаждающей жидкостью или рассолом. В связи с отсутствием циркуляции охлаждающей жидкости процесс охлаждения погружным способом протекает медленно. Более совершенными охладителями являются аппараты емкостного типа, оборудованные охлаждающей рубашкой и мешалкой. Аппараты выполняют в виде ванн — охладителей и резервуаров различной конструкции. Молоко охлаждается в результате циркуляции в охлаждающей рубашке ледяной воды. Получение ледяной воды обеспечива-

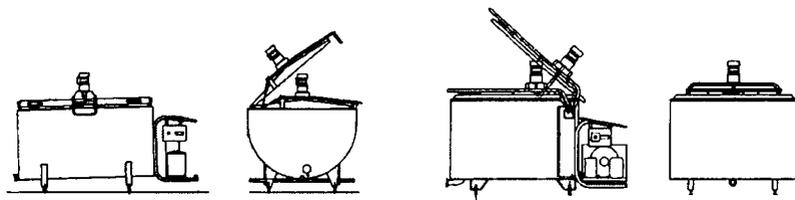


Рис. 17.6. Горизонтальный охладитель молока фирмы «Serap»

Рис. 17.7. Вертикальный охладитель молока фирмы «Serap»

ется работой встроенного в рубашку испарителя холодильной установки. Существуют аппараты подобного типа и с непосредственным охлаждением ванны кипящим хладагентом. Вместимость по молоку показанных на рис. 17.6, 17.7 аппаратов находится в интервале от 900 до 24 000 кг.

Продолжительность охлаждения молока в аппаратах периодического действия составляет около 3 ч от температуры 34 °С до температуры 4 °С. Разовое или периодическое добавление теплого молока в ранее охлажденное, которое иногда практикуют на молочно-товарных фирмах, не увеличивает продолжительность бактерицидной фазы. В аппаратах периодического действия, как правило, кипящий хладагент охлаждает воду, омывающую внутреннюю ванну. Конструктивное решение позволяет включать установку за 3–4 часа до поступления молока и аккумулировать холод путем намораживания льда на испарителе. Это позволяет использовать менее мощную холодильную машину и, следовательно, более дешевую. Варианты охлаждения молочных танков: непосредственно кипящим в испарителе хладагентом; водой, которая охлаждается в испарителе кипящим хладагентом.

Экспертный опрос производителей и потребителей охладителей молока периодического действия, проведенный в странах ЕС, не выявил существенных преимуществ одного способа охлаждения перед другим. Мешалка, используемая в охлаждаемых емкостях, позволяет интенсифицировать процесс теплообмена со стороны молока, но одновременно увеличивает теплоприток к молоку. Поэтому ряд импортных танков-охладителей оснащены микропроцессором с программируемой работой мешалки. Крупные танки-охладители также оснащаются автоматической системой мойки танка. Естественно стоимость охладителей с расширенным сервисным управлением дороже, но и качество молока выше.

Наиболее эффективны пластинчатые охладители. Пластинчатые теплообменники обеспечивают обработку молока без доступа окружающего воздуха и наиболее полно отвечают требованиям промышленной

санитарии. Пластинчатый охладитель состоит из группы однотипных теплообменных пластин, соединенных в один пакет. Потоки охлаждаемой и охлаждающей жидкости чередуются. Возможность компоновки из небольшого набора типовых пластин позволяет получить значительный спектр теплообменников с расходом молока от $1 \text{ м}^3/\text{ч}$ до нескольких десятков $\text{м}^3/\text{ч}$. Для увеличения площади поверхности теплообмена пластины изготавливают рифлеными.

Высокая скорость охлаждения молока достигается одновременной реализацией в аппаратах нескольких технических приемов: организацией движения сред в тонких потоках; перемешиванием каждого из потоков вследствие наличия гофр на пластинах; малой толщиной пластин; практическим отсутствием других теплопритоков, кроме теплопритока от охлаждаемого продукта.

Компоновка аппаратов может позволить сократить расход электроэнергии на производство искусственного холода при реализации двухсекционного исполнения. Причем в одной из секций молоко охлаждается холодной водой, например, из артезианской скважины ($8\text{--}10^\circ\text{C}$), а во второй секции — ледяной водой (около 1°C) от холодильного агрегата. На некоторых производствах артезианская вода вначале подается в водонапорную башню, где находится несколько часов. В летнее время такое решение приводит к нагреву воды до температуры окружающей среды и одна из секций практически не охлаждает молоко. Приобретая пластинчатые теплообменники для охлаждения молока, следует подумать и о приобретении охлаждаемых танков для хранения охлажденного молока. Охлажденное молоко при заполнении танка-термоса может повысить свою температуру на $1\text{--}2 \text{ K}$ за счет охлаждения металлических деталей корпуса танка.

Значительная часть молока используется для производства цельномолочной продукции: питьевого пастеризованного и стерилизованного молока, сливок, кисломолочных напитков (простокваша, кефир, ацидофилин и др.), сметаны, творога и творожных изделий. Для их приготовления применяются ванны и резервуары, охлаждаемые ледяной водой. Производство чистых кисломолочных бактерий осуществляют в заквасочниках, для охлаждения которых применяется ледяная вода и хладоносители с температурой до -8°C .

При пастеризации в молоке полностью уничтожаются все патогенные и основная масса молочнокислых бактерий. Однако теплоустойчивые молочнокислые бактерии, а также бактериальные споры в пастеризованном молоке остаются, что ограничивает срок его хранения. Пастеризацию проводят в пастеризационно-охладительных пластинчатых установках, устройство которых аналогично пластинчатым охладителям

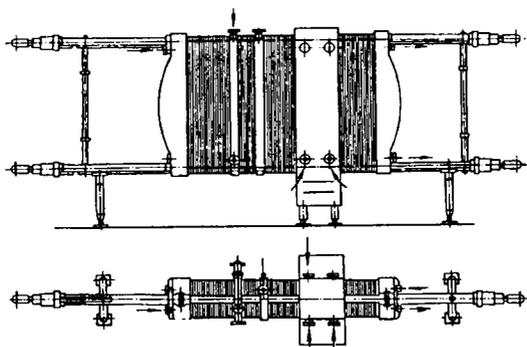


Рис. 17.8. Пастеризационно-охладительная установка (виды сбоку и сверху)

(рис. 17.8). В пастеризационно-охладительной установке предусматривается секция нагрева, секция выдержки, одна или две секции регенерации, одна или две секции охлаждения. В секциях регенерации происходит теплообмен между встречными горячим и холодным потоками молока. Эффективность работы этих секций позволяет снизить расход энергии на нагрев молока и энергии на работу холодильной установки. Охлаждение молока до 4°C производится холодной водой и ледяной водой или хладоносителем ($-5 \dots -10^{\circ}\text{C}$). На небольших предприятиях используют ванны длительной пастеризации, вместимость которых по молоку составляет от 0,3 до 1 м^3 . Хранение молока производится в охлаждаемых или изотермических танках (рис. 17.9). Размещая молочные танки в технологическом цехе, следует обращать внимание и на такие детали: попадают ли прямые солнечные лучи на поверхность емкости; не установлены ли рядом нагревательные приборы (калорифер, отопительные батареи и т. п.); не обдуваются ли потоком теплого воздуха. Не является ни для кого секретом, что летом солнечные лучи могут нагреть металлическую поверхность до 50°C . А это — нагрев молока в танк-термосе или повышенный расход электроэнергии на выработку холода в охлаждаемом танке.

Сливки отличаются от молока более высоким содержанием жира и меньшим содержанием других составных частей. Для непосредственного употребления выпускают сливки с содержанием жира 10 и 20%. Сливки 35%-ной жирности используются в качестве полуфабриката при выработке сметаны и масла. Полученные сливки подвергаются пастеризации с последующим охлаждением. По условиям производства сливки должны иметь температуру не выше 6°C . Для охлаждения сливок, предназначенных для производства сметаны и масла, применяют сливокосозревательные ванны и резервуары вертикального типа. Слив-

косозревательная ванна представляет собой горизонтальный полуцилиндр с крышкой, оборудованной охлаждающей рубашкой. Ванна снабжена качающейся мешалкой, изготовленной из труб, по которым циркулирует охлаждающий хладоноситель.

Сметану вырабатывают из пастеризованных сливок путем их заквашивания специальной закваской из молочнокислых и ароматобразующих стрептококков. При этом в сливках накапливается молочная кислота, и при накоплении ее в минимально допустимых стандартом нормах она оказывает консервирующее действие и придает сметане приятный кисломолочный вкус. Ароматобразующие бактерии, вводимые в закваску, способствуют образованию характерного аромата. Хранят сметану при температуре около 1°C , но не ниже 0°C . При более низкой температуре сметана замерзает, в ней образуются комья белка, отделяется сыворотка, ухудшается консистенция.

Творог представляет собой белковый кисломолочный продукт. Кроме полноценного молочного белка в нем содержатся ценные для человека минеральные вещества: кальций, фосфор, а также железо, магний и др. По содержанию жира творог подразделяют на жирный (18%), полужирный (9%) и нежирный. При кратковременном хранении творог должен иметь температуру $6-8^{\circ}\text{C}$. Творог охлаждают в аппаратах цилиндрического или трубчатого типа (рис. 17.9). Кроме того, для охлаждения творога в линиях поточного производства применяют и пластинчатые охладители, аналогичные охладителям для молока и отличающиеся только формой и размерами теплообменных пластин. Зазор для прохода творога между пластинами увеличен до 6 мм, тогда как для охладителей молока он составляет 2–2,5 мм. Для длительного хранения творог замораживают и хранят при температуре -18°C несколько месяцев.

При необходимости длительного хранения молоко замораживают. Решающее значение для получения замороженного молока хорошего качества имеет скорость замораживания. Если замораживание происходит медленно, то на поверхность молока всплывает жир, а во внутреннем объеме происходит расслоение, причем периферийные

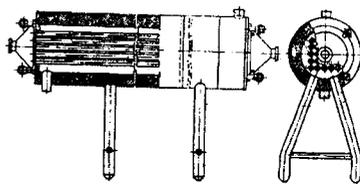


Рис. 17.9. Трубчатый охладитель творога

слои оказываются обогащенными водой, а центральная часть объема — растворенными в воде веществами (молочным сахаром и минеральными солями). При оттаивании образуется свободная жировая фракция и выпадают белковые хлопья. Если молоко предварительно подвергнуть го-

могенизации и замораживать быстро в тонком слое толщиной до 1 см, то при оттаивании оно хорошо восстанавливается. Однако в современной промышленной практике молоко замораживают сравнительно редко.

Более широкое распространение получило замораживание сливок, которые используются в дальнейшем для производства масла и сметаны. Замораживают сливки в пакетах из полимерной пленки в пластинчатых и плиточных морозильных аппаратах вертикального типа. Продолжительность хранения замороженных сливок при -18°C до 8 мес.

Охлажденная сметана может сохраняться не более 10 сут. Замораживание сметаны с целью увеличения сроков хранения не применяется, так как вызывает существенные структурные изменения — необратимое расслоение коллоидной системы с отделением воды.

Хорошие результаты дает быстрое замораживание творога в блоках и брикетах, упакованных в полиэтиленовую пленку. Продолжительность замораживания составляет 2–3 ч при температуре не выше -28°C . Хранят замороженный творог при -18°C в течение 4–7 мес. Размораживать творог следует также быстро. Для этой цели применяют специально приспособленные морозильные аппараты, в которых в качестве теплоносителя используют теплую воду или подогретый рассол.

Сливочное масло — ценный пищевой продукт с высоким содержанием жира (61,5–82,5%); в водной части масла содержатся белковые вещества (около 2%), придающие ему приятный вкус, а также молочный сахар. Сырьем для производства масла служат сливки жирностью 25–42%, получаемые сепарированием молока. Масло изготавливают двумя способами: методом сбивания в маслоизготовителях (рис. 17.10) и поточным методом преобразования высокожирных сливок. При изготовлении сливочного масла методом сбивания сливки пастеризуют при высокой температуре (90 – 95°C) для более полного уничтожения микроорганизмов. После пастеризации сливки немедленно охлаждают до 4°C . Эти операции выполняют на пластинчатых пастеризационно-охладительных установках. Затем сливки выдерживаются в охлаждаемых емкостях при 2 – 4°C несколько часов для физического созревания. В процессе созревания молочный жир переходит из твердого состояния в полужидкое, наиболее удобное для сбивания; белковые вещества набухают, вязкость сливок увеличивается — все это ускоряет процесс сбивания. Сбивание сливок производится в маслоизготовителе непрерывного или периодического действия. Рабочие цилиндры маслоизготовителей, в которых происходит сбивание, охлаждаются подаваемой в рубашку ледяной водой. Когда при сбивании жировая часть сливок полностью превратится в масляное зерно величиной 2–4 мм, процесс сбивания заканчивают. Из маслоизготовителя выпускают пахту (нежир-

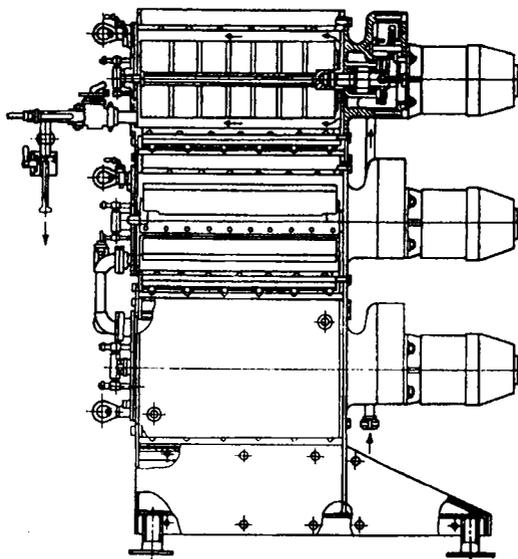


Рис. 17.10. Маслоизготовитель трехцилиндровый

ную часть сливок), масляное зерно промывают водопроводной водой для удаления остатков пахты, а вместе с ней — белковых веществ и молочного сахара. При последующей обработке влажность масла доводится до нормы, предусмотренной стандартом для данного вида масла.

При получении масла поточным способом вместо процесса сбивания сливок осуществляют их повторное сепарирование. Продолжительность процесса выработки масла при этом способе сокращается до 20–30 мин. Сливки пастеризуют и, не охлаждая, направляют в сепаратор для получения высокожирных сливок с содержанием жира около 83%. Затем высокожирные сливки нормализуют до жирности, соответствующей стандартному маслу, и направляют в маслообразователь-охладитель. В маслообразователе сливки подвергают интенсивному перемешиванию и охлаждению, в результате чего они приобретают структуру, сходную со сливочным маслом обычной выработки. Из маслообразователя выходит продукт жидкой консистенции температурой 12–14 °С. Масло, упакованное в тару, охлаждается до –18 °С. Вследствие низкой теплопроводности масла и большой массы монолита температура понижается медленно. Так, при температуре воздух в камере –25 °С и начальной температуре 20 °С температур монолита на глубине 6–8 см понижается до минус 12 °С не менее 2 сут. На продолжительность теплоотвода влияет также содержание воды в масле. Этот же фак-

тор оказывает существенное влияние на возможную продолжительность хранения. Так, сладкосливочное масло при температуре -12°C может храниться свыше года, в то время как крестьянское масло, содержащее больше воды, при указанной температуре рекомендуется хранить не более года. Для удлинения продолжительности хранения необходимо после определенного срока понизить температуру с -12 до 18°C . Более высокая температура в первый период хранения обеспечивает замедление гидролитических, а во второй период понижение температуры способствует задержке окислительных процессов.

Сыры по сравнению с другими молочными продуктами имеют наиболее высокую пищевую ценность, так как содержат в концентрированном виде полноценные белковые вещества и молочный жир. В составе сыров много минеральных веществ, особенно кальция, а также водо- и жирорастворимых витаминов. Получают сыр путем свертывания белков молока, дальнейшей обработки сгустка с целью его обезвоживания и последующего созревания сырной массы. Головки сыра после прессования направляют на посол. Производят посол натиранием солью или непосредственно в рассоле. После посола головки обсушивают на стеллажах и переносят в специальные камеры для созревания, в которых поддерживают температуру в интервале $10-15^{\circ}\text{C}$ и относительную влажность воздуха $90-95\%$ в зависимости от вида и технологии производства сыров. При этих условиях в сырах нормально протекают биохимические процессы, а высокая влажность воздуха способствует уменьшению потерь, связанных с высушиванием. В процессе созревания в сыре накапливаются продукты распада белка: пептоны, полипептиды, свободные аминокислоты, диоксид углерода, аммиак и др. В результате биохимических процессов выделяется теплота, которую следует отводить. Увеличение содержания растворимых веществ формирует сырный вкус. Наличие диоксида углерода и аммиака придает сыру остроту. Появляется характерный рисунок при накоплении в сырной массе CO_2 , который раздвигает сырные зерна и образует пустые полости — глазки. В зависимости от вида сыра период созревания лежит в пределах от 1 до 2 мес. Режимы холодильного хранения сыров зависят от их вида и требуемого срока хранения. Сыры хранят, как правило, при температуре от -2 до 5°C и относительной влажности воздуха $85-90\%$.

Мороженое — сладкий освежающий продукт, получаемый путем взбивания и замораживания специально подготовленной смеси. Молочное, сливочное мороженое и пломбир различаются содержанием жира. Эти виды мороженого выпускают без наполнителей и с наполнителями — шоколадное, кофейное, крем-брюле, ореховое и др. Плодово-ягодное мороженое готовят на поточной линии для производства мо-

роженого: из плодов, ягод и продуктов их переработки с добавлением сахара и стабилизаторов. Сырьем для изготовления мороженого служат молоко, сливки, сахар, сливочное масло различные вкусовые и ароматические продукты — ягоды, орехи какао, кофе, эссенции, ваниль и т. п. Приготовление смеси осуществляется в специальных ваннах-нормализаторах с подогревом. Обязательной составной частью смеси являются так называемые стабилизаторы. Их назначение — придать смеси, а позже и самому мороженому хорошую консистенцию, делающую мороженое приятным при употреблении. Готовая смесь пастеризуется с целью уничтожения вредоносной микрофлоры. Пастеризация осуществляется или в ваннах длительной пастеризации при температуре 65–70 °С в течение 30 мин, или в пластинчатых пастеризационно-охлаждающих установках при 85–90 °С с выдержкой до 50 с. Пастеризованную смесь фильтруют, а затем гомогенизируют.

Цель гомогенизации состоит в раздроблении жировых шариков молока, сливок и масла и придании этой смеси наибольшей однородности (гомогенности). Гомогенизированная смесь охлаждается на молочном охладителе до 2–4 °С. Замораживают смесь в специальных аппаратах — фризерах (рис. 17.11), где смесь во время замораживания перемешивается и насыщается воздухом. Для замораживания смеси применяют фризеры периодического или непрерывного действия различных типов и производительности. Фризер представляет собой горизонтальный цилиндр с рубашкой, в которой кипит хладагент при –25...–30 °С. В цилиндр вводят смесь для замораживания. Внутри фризера находятся ножи и мешалки, которые, вращаясь, снимают замерзшую смесь со стенок цилиндра, перемешивают, насыщая воздухом. Количество воздуха в мороженом занимает около половины общего объема, что придает ему нежную консистенцию. Во фризеры непрерывного действия воздух подается специальным насосом, поэтому мешалки в них не делают. Мороженое, выходящее из фризера, имеет консистенцию густой сметаны и температуру –4...–6 °С. Такое мороженое часто называют «мягким». Из фризера мороженое подается на дозирующие автоматы или полуавтоматы для брикетов, стаканчиков и других видов фасовки.

После фасования мороженое поступает на закаливание в рассольные морозильные карусельные генераторы (рис. 17.12) или аппараты воздушного закаливания. Температура холодного рассола не выше –25 °С; воздуха –28...–35 °С; мороженого после закаливания –12 °С. Далее мороженое направляется в холодильную камеру для дозакаливания и хранения при температуре воздуха 25 °С перед поставкой в торговую сеть. Стабильность температурных режимов на всех этапах произ-

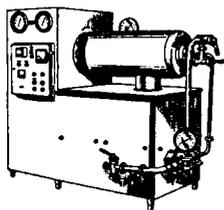


Рис. 17.11. Фризеры непрерывного действия с непосредственной системой охлаждения

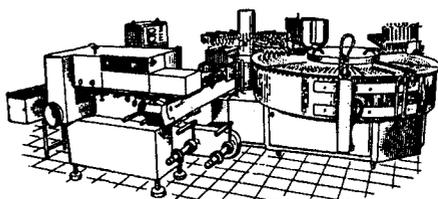


Рис. 17.12. Эскимогенератор карусельный

водства мороженого позволяет получить высококачественный продукт с равномерной консистенцией.

Более подробно можно познакомиться с аппаратами для производства мороженого в специальной литературе.

В производстве маргарина, лимонной кислоты используют кристаллизаторы непрерывного или периодического действия. Поддержание заданной технологической температуры обеспечивает наиболее эффективное течение процесса кристаллизации.

17.3 Птицеперерабатывающая промышленность

Охлаждение птицы осуществляют в потоке холодного воздуха, в ледяной воде. Выбор способа охлаждения определяется организацией технологического процесса.

Воздушное охлаждение производится в камерах интенсивного охлаждения при температуре воздуха до -4°C , относительной влажности около 95% и скорости движения воздуха 3–4 м/с. Наиболее эффективным является непрерывное охлаждение тушек, подвешенных на конвейере. Охлаждение тушек на полках этажерочных тележек в туннелях удлиняет процесс до 2–3 ч. Укладка птицы перед охлаждением в ящики или лотки еще более удлиняет срок охлаждения до 8 ч. Применение укладки в лотки, повышенной температуры воздуха до 1°C и отсутствие организованной циркуляции воздуха доводит продолжительность охлаждения до 24 ч.

Использование ледяной воды позволяет не только интенсифицировать процесс охлаждения, но и улучшить товарный вид тушек. Используются способы охлаждения погружением, орошением, комбинировани-

ем двух операций. Охлаждение погружением вызывает опасность перезаражения тушек микрофлорой. Продолжительность процесса составляет в зависимости от размеров тушек от 10 до 35 мин. Оросительное охлаждение со сбросом использованной воды в канализацию лучше с точки зрения санитарных требований, но значительно возрастает расход воды и электроэнергии на производство охлажденной воды.

Современный способ охлаждения птицы заключается в сочетании двух способов, кратковременном орошении и дальнейшем охлаждении в потоке холодного воздуха. При этом улучшается товарный вид птицы, не происходит перезаражение, сокращается продолжительность охлаждения и снижается расход холода.

Хранение охлажденной птицы осуществляется при температуре 0–2 °С, относительной влажности 80–85%.

Замораживание птицы производится в туннелях холодным воздухом, погружением в водный раствор пропиленгликоля или хлористого кальция.

Замораживание в туннелях происходит при скорости движения воздуха около 4 м/с и температуре воздуха –30... –40 °С. Замораживание одиночных тушек составляет 12 ч. Повышение температуры воздуха до –18 °С, предварительная упаковка тушек в ящики, снижение скорости движения воздуха до естественной циркуляции вызывает удлинение продолжительности процесса замораживания до 48–72 ч в зависимости от размеров тушек. Упаковка тушек в термоусадочную или вакуумную пленку также ведет к возрастанию продолжительности процесса.

Морозильные аппараты с погружением тушек в жидкий хладоноситель используются для предварительного замораживания, а окончательное производится в холодильных камерах при температуре до –30 °С. Продолжительность охлаждения в жидком хладоносителе составляет 20–40 мин в зависимости от размеров тушек. Хранится замороженная птица в холодильных камерах при температуре не выше –12 °С и относительной влажности 85–95%.

Использование предварительного замораживания птицы погружением позволяет получить более качественный товарный вид продукции.

17.4 Рыбная промышленность

Рыбная промышленность представлена рефрижераторным флотом и береговыми рыбообработывающими предприятиями. Рефрижераторный флот по функциональному назначению можно разделить на три основные группы: добывающие, обрабатывающие и приемно-транспортные суда.

Добывающие рефрижераторные суда производят лов и первичную обработку рыбы, после чего передают ее или на обрабатывающие суда, или приемно-транспортные суда для транспортирования продукции в порты назначения. При объединении на одном судне функций добычи и обработки рыбы судно превращается в единый механизированный комплекс по добыче и обработке рыбы. Обрабатывающие суда принимают от добывающих рыбу-сырец или полуфабрикат, производят их различную обработку (замораживание, приготовление филе, посол сельди, изготовление пресервов или консервов и т. п.) и доставляют готовую продукцию в порт базирования или передают в море на приемно-транспортные суда. Приемно-транспортные суда предназначены для приема в море, в районе лова, от добывающих и обрабатывающих судов мороженой, слабосоленой и другой рыбной продукции и доставки ее в порты назначения.

Холодильники рыбной промышленности представляют собой предприятия, связанные с промышленными комплексами по приему рыбы, ее обработке и распределению, и входят в состав этих комплексов. По функциональному назначению холодильники разделяются на портовые, производственные, сбытовые и промысловые. В рыбной промышленности холод применяют в следующих технологических процессах:

- охлаждение свежей рыбы для реализации в виде товарной охлажденной продукции, для последующего замораживания и для обработки на разоборазделочных машинах;
- для охлаждения кулинарных изделий после тепловой обработки, а также рыбы холодного и горячего копчения;
- подмораживание свежей рыбы;
- замораживание свежей рыбы, готовых рыбных блюд, филе, пельменей;
- хранение рыбы и рыбопродуктов.

Химический состав мяса рыбы непостоянен и изменяется в зависимости от ее вида, возраста, физиологического состояния, времени и места вылова. Более половины массы рыбы составляет вода; ее количество колеблется в довольно широких пределах, составляя в среднем от 53–56 (минога, угорь) до 79–81% (треска, судак, щука). Большим колебаниям подвержено и содержание жира — от 0,1 до 33%. Рыбу в зависимости от содержания жира подразделяют на три категории: тощую — до 2% жира, средней жирности — от 2 до 5% и жирную более 5% жира. Благодаря содержанию витаминов А и D, фосфолипидов и холестерина рыбий жир является продуктом высокой пищевой ценности. Содержание белковых веществ в мясе большинства рыб сравнительно постоянно и

составляет в среднем 14,5—21%. Содержание минеральных веществ в мясе различных пород рыб примерно одинаково — от 1 до 1,5%. Состав этих веществ зависит от среды, в которой обитает рыба. Так, у морских рыб в 1,5 раза больше солей натрия и в 7 раз больше хлора, чем у пресноводных. В незначительном количестве в состав минеральных веществ входят медь, железо, марганец, никель, кобальт, цинк и другие микроэлементы. В мясе морских рыб содержится йод. Мясо рыбы состоит в основном из мышечной и соединительной ткани.

После вылова рыбы в ней происходят как прижизненные, так и посмертные процессы и изменения. К прижизненным изменениям относятся гиперемия, а к посмертным — слизевыделение, посмертное окоченение, автолиз, бактериальное разложение и гниение. Гибель выловленной рыбы происходит либо от удушья, либо от физического воздействия (сдавливания в трале). Гибель от удушья (асфиксия) происходит в результате недостаточного поступления в организм кислорода. Это явление сопровождается гиперемией — переполнением кровеносных сосудов кровью. При этом жабры рыбы быстро наливаются кровью, становятся ярко-красными и заметно увеличиваются в размерах. Во время гиперемии наблюдается кровоизлияние в жабры, в крови и мышцах накапливается молочная кислота и другие неокисленные соединения, вызывающие паралич нервной системы, в результате чего рыба погибает (засыпает). Скорость засыпания рыбы зависит от степени физического и нервного утомления рыбы при вылове. После гибели рыбы от удушья мясо ее некоторое время имеет наиболее нежную и сочную консистенцию.

Слизевыделение представляет собой процесс, при котором из слизистых желез, расположенных под кожей, на поверхность рыбы выделяется слизь. Выделение слизи начинается сразу же после вылова рыбы и является реакцией организма на неблагоприятные внешние условия. Слизь является благоприятной средой для развития микроорганизмов, под действием которых рыба приобретает гнилостный запах. Однако этот неприятный запах не является еще признаком порчи рыбы, так как микроорганизмы в этот период находятся только на поверхности. После тщательной промывки в проточной воде слизь смывается, запах исчезает, и рыба становится вполне доброкачественной. Перед наступлением посмертного окоченения выделение слизи прекращается. Посмертное окоченение — это затвердевание рыбы в результате физико-химических процессов в мышцах, вызывающих их напряжение и сокращение. Окоченение начинается с головы рыбы, постепенно переходит в мышцы туловища, а затем и на хвостовую часть. Рыба в стадии окоченения трудно поддается сгибанию. Когда поступление энергии для сокращения мышц

прекращается и они расслабляются, посмертное окоченение заканчивается. В стадии посмертного окоченения мясо рыбы безупречно по качеству и свежести, поэтому эту стадию стараются продлить как можно дольше. Для этого сокращают пребывание рыбы в орудиях лова, избегают лишних перевалок и главное — немедленно охлаждают. Чем позднее начинается посмертное окоченение и дольше продолжается, тем дальше отодвигается стадия автолиза и бактериального разложения рыбы.

Автолиз — процесс распада белков, жиров, углеводов и других веществ рыбы на более простые соединения под действием ферментов. Ткани головы, плавников и мышц становятся красными. Автолиз проявляется в размягчении мышц из-за распада белков соединительной ткани и особенно коллагена, в западании и помутнении глаз, побледнении жабер. Наибольшие изменения во время автолиза претерпевают белки, которые расщепляются до полипептидов и отдельных аминокислот. Рыба с начальными признаками автолиза вполне пригодна в пищу, но впоследствии качество ее снижается. Автолиз подготавливает благоприятные условия для жизнедеятельности гнилостных микроорганизмов. Для уменьшения автолитических изменений рыбу необходимо потрошить и подвергать охлаждению. Гниение — глубокий распад азотистых веществ рыбы под действием гнилостных микроорганизмов. При бактериальном разложении белков вначале происходит расщепление белков до аминокислот под действием ферментов микроорганизмов, а затем — дальнейшее расщепление аминокислот на простейшие азотистые соединения, свободный аммиак, триметиламин, диоксид углерода, сероводород и т. д. В стадии бактериального разложения рыбу в пищу употреблять нельзя. Для задержки бактериального разложения необходимо поддерживать чистоту в процессе переработки и хранения рыбы, подвергая ее охлаждению, так как с понижением температуры активность ферментов, вырабатываемых микроорганизмами, снижается.

Рыба охлаждается непосредственно в местах лова на судах, оборудованных холодильными устройствами для охлаждения. В качестве охлаждающей среды используют лед, полученный из пресной или морской воды, или рассол хлористого натрия.

Широко распространен способ охлаждения рыбы во льду. На дно тары закладывают слой мелкодробленого льда, на который ровным слоем укладывают предварительно подготовленную рыбу, затем опять слой льда и т. д. до полного заполнения объема тары. При охлаждении рыбы в жидких средах используют холодную воду, рассол хлористого натрия и охлажденную морскую воду. Концентрация раствора хлористого натрия порядка 2% является наиболее приемлемой, поскольку она близка к концентрации тканевого сока, и поэтому действие осмотического

давления сводится к минимуму. Охлаждение жидких сред осуществляется льдом или машинным способом. Во избежание подмораживания рыбы охлаждение сред ведется до температуры не ниже $-3 \dots -5^\circ\text{C}$. Охлаждение рыбы погружным способом, осуществляется в специальных корзинах, устанавливаемых в бак с циркулирующей охлаждающей средой. Охлаждение путем орошения рыбы холодным рассолом осуществляют на конвейере, где рыба по мере его продвижения орошается холодным рассолом через форсунки или другие распределяющие устройства. Продолжительность охлаждения зависит не только от температуры среды, но и от массы рыбы и ее укладки на конвейере. Лучшие результаты получаются при распределении рыбы на конвейере в один ряд при температуре рассола -2°C . Средняя продолжительность охлаждения составляет 1–2 ч. После окончания охлаждения для удаления поверхностного слоя рассола рыбу промывают холодной водой.

Перед замораживанием рыбу осматривают и сортируют. У крупной рыбы обычно удаляют внутренности, а возможные загрязнения и образовавшуюся слизь смывают чистой водой. Замораживают рыбу в плиточных морозильных аппаратах или в воздушных морозильных камерах. В зависимости от размеров и характера оборудования камер замораживание может производиться раскладкой, навалом или в формах на стеллажах как стационарных, так и переносных, а также в подвешенном состоянии на подвесных путях или на вешалах. Температура воздуха при замораживании рыбы -30°C и ниже. Для ускорения процесса создается побудительная циркуляция воздуха. В морозильных аппаратах предназначенных для блочного замораживания рыбы в потоке холодного воздуха, обеспечивают движение воздуха со скоростью 4–6 м/с при температуре $-30 \dots -40^\circ\text{C}$. К аппаратам такого типа относятся конвейерные. Аппараты состоят из грузового конвейера, несущего блок-формы с замораживаемой рыбой, вентилятора и воздухоохладителя.

В рыбной промышленности, особенно на судах, для замораживания рыбы широко применяют плиточные морозильные аппараты, позволяющие получать блоки рыбы. Нередко плиточные машины оснащаются индивидуальной холодильной машиной, что позволяет использовать единую систему автоматического управления замораживающим аппаратом.

Для жирных пород рыбы, например сельдевых, температуру замораживания следует понижать и стремиться интенсифицировать процесс замораживания. Крупную рыбу ценных пород рекомендуется после замораживания покрывать ледяной глазурью (тонкой ледяной корочкой). Для этой цели замороженную рыбу погружают в чистую холодную воду и оставляют в холодном воздухе морозильных аппаратов или камер хранения. При хранении рыбы ледяное покрытие предохраняет продукт

от усушки, а содержащийся в рыбе жир — от окисления. В роторном глазировочном аппарате производится напыление мелкодисперсной воды на замороженные блоки рыбы, погружение блоков в теплую воду и снова напыление воды. Во втором типе аппарата вода напыляется на замороженные блоки в потоке холодного воздуха с температурой 30°С.

Особо ценные и жирные породы рыбы замораживают в криогенных морозильных аппаратах.

Хранение замороженной рыбы производят в холодильных камерах, температурный режим в которых определяется жирностью хранящейся рыбы.

17.5 Хлебопекарная и кондитерская промышленности

В этих отраслях промышленности низкие температуры широко используют в технологических процессах, для холодильной обработки и хранения сырья, полуфабрикатов и готовых изделий, а также для кондиционирования воздуха производственных помещений.

Хлебопекарная промышленность. Хлеб, булки и другие штучные хлебулочные изделия из ржаной или пшеничной муки относительно быстро черствеют. Черствление хлебулочных изделий связано с денатурированием белков и клейстеризованного крахмала. Изделия из пшеничной муки черствеют быстрее, чем из ржаной. Процесс черствления замедляется при добавлении в тесто жира, молока, сахара. Применение низких температур позволяет замедлить скорость черствления.

В хлебопекарном производстве низкие температуры используют для хранения сырья (молока, яиц, жира, дрожжей), охлаждения воды (до 2–5°С) и муки (до 15°С) перед замесом теста в теплое время, холодильной обработки и хранения обработанных полуфабрикатов и изделий.

В технологическом процессе подготовки к выпечке низкие температуры используют для замедления или прерывания ферментации теста или полуфабрикатов с целью выпечки через некоторый промежуток времени. Например, тесто, из которого выпекают мелкоштучные хлебулочные изделия, охлажденное после разделения на порции охлажденное до температуры 0...–3°С, может храниться до 15 ч. Для хранения теста более длительный период его замораживают до –10°С.

Тесто для хлеба, охлажденное до температуры 0...–3°С, может храниться в течение трех дней.

В развитых странах широко используют охлаждение и замораживание тестовых полуфабрикатов и недопеченных изделий. Это позволяет выпекать хлебулочные изделия потребителям в любое время; расши-

рять ассортимент изделий; снижать расходы на производство. Тесто и полуфабрикаты замораживают сразу после формования, чтобы не допустить ферментацию. Готовые изделия лучшего качества получаются из теста, замороженного с большей скоростью и до более низкой температуры. Для увеличения срока хранения и уменьшения потери влаги полуфабрикаты замораживают в упаковке (бумаге, пленке, картонных коробках).

Замороженные упакованные полуфабрикаты хранят в камере при температуре воздуха $-10 \dots -25 \text{ }^\circ\text{C}$ (в зависимости от вида изделий) в течение месяца и более.

Полуфабрикаты должны размораживаться со скоростью, при которой влага не конденсируется на поверхности и масса прогревается равномерно по объему, что обеспечивает равномерность ферментации, например, в камере при температуре $30\text{--}50 \text{ }^\circ\text{C}$ и влажности $70\text{--}80\%$ в течение $1\text{--}3$ ч. После размораживания полуфабрикаты растаивают в камере при температуре воздуха $32\text{--}35 \text{ }^\circ\text{C}$ и влажности $70\text{--}80\%$ в течение $40\text{--}150$ мин.

Хлеб и булки охлаждают сразу после выпечки для длительного сохранения свежести. Так, белый хлеб охлаждают от 95 до $30 \text{ }^\circ\text{C}$ воздухом с температурой $20 \text{ }^\circ\text{C}$, относительной влажностью 50% при скорости движения $0,5$ м/с.

Тесто и полуфабрикаты, содержащие дрожжи, можно кратковременно хранить при температуре $4 \text{ }^\circ\text{C}$, так как брожение прекращается. При этой температуре можно кратковременно хранить и готовые изделия.

Для длительного хранения хлебобулочные изделия замораживают. Сначала охлаждают до температуры $40\text{--}20 \text{ }^\circ\text{C}$, а затем в морозильных аппаратах при температуре $-30 \text{ }^\circ\text{C}$ и ниже, скорости движения воздуха до 3 м/с. Булочки необходимо замораживать как можно быстрее (в пределах 45 мин). Продолжительность замораживания до среднеобъемной температуры изделий $-18 \text{ }^\circ\text{C}$ и ниже составляет $1\text{--}4$ ч в зависимости от размеров и режима обработки. Хлебобулочные изделия быстро теряют влагу, поэтому необходимо принимать меры для сокращения потери влаги.

Замороженные изделия хранят в камере при температуре воздуха $-15 \text{ }^\circ\text{C}$ и ниже.

Перед отправлением в реализацию замороженные изделия отепляют. Причем режим размораживания влияет на качество изделия. Размораживание мелкоштучных изделий рекомендуется начинать с их выдержки в течение $20\text{--}30$ мин при комнатной температуре. Далее их обрабатывают паром с температурой $210 \text{ }^\circ\text{C}$ в течение $2\text{--}3$ мин. Затем при хранении происходит выравнивание температуры по объему продукта.

Существуют и другие режимы, но их применение не позволяет получить высокое качество. Например, изделия сначала помещают в камеру с температурой 0°C , влажностью не более 70% и скоростью движения до 0,5 м/с, а затем в помещение с комнатной температурой. При необходимости процесс отепления можно сократить, проводя его при высоких температурах ($50\text{--}60^{\circ}\text{C}$), низкой относительной влажности и скорости выше 0,5 м/с.

Для хлеба применимы те же общие рекомендации по обработке, что и для мелкоштучных хлебобулочных изделий. Но в отличие от них целый хлеб нельзя замораживать сразу после выпечки и нужно упаковывать. Период выдержки тем больше, чем выше в нем содержание ржаной муки, а упаковка увеличивает срок хранения хлеба приблизительно в 1,5 раза.

Так, пшеничный хлеб может быть заморожен через 15 мин после выпечки, а с добавлением ржаной муки — через 45 мин, ржаной хлеб — через 90 мин.

Буханки хлеба массой 1–2 кг рекомендуется замораживать 3–5 ч при температуре воздуха -20°C до температуры в центре -7°C .

Время хранения неупакованного хлеба составляет не более, дней: 3 — пшеничного; 5 — с добавлением ржаной муки и 7 — ржаного.

Режим размораживания хлеба может быть тот же, что и для мелкоштучных хлебобулочных изделий. Допускается размораживание и при комнатной температуре и низкой влажности за время до 5 ч.

Кондитерская промышленность. Кондитерские мучные изделия отличаются от хлебобулочных в основном большим содержанием жира и сахара. Поэтому и в этой отрасли низкие температуры применяют при хранении сырья, полуфабрикатов и готовых изделий, в технологических процессах, для кондиционирования воздуха.

Низкие температуры применяют для замедления и прерывания ферментации при изготовлении кондитерских изделий в основном небольшой массы из дрожжевого высококачественного теста для слоеных изделий. Например, для замедления ферментации тесто, приготовленное при температуре $10\text{--}12^{\circ}\text{C}$, выдерживают в течение ночи при температуре $2\text{--}4^{\circ}\text{C}$, при которой ферментация прекращается, но рост объема и созревание теста не прерываются. Такое тесто обладает хорошей подвижностью и может сохраняться в течение 10–16 ч.

При изготовлении небольших по массе (до 250 г) кондитерских изделий из нежного дрожжевого теста, если полуфабрикаты необходимо сохранить до 5 дней, прерывают ферментацию охлаждением.

Тесто для кондитерских изделий, предназначенных для выпечки потребителями, замораживают для прерывания ферментации при темпе-

ратуре до -30°C и хранят при $-18 \dots -20^{\circ}\text{C}$. При увеличении содержания дрожжей приблизительно на 1% замороженное тесто можно хранить до 5 дней. Замороженное нежное тесто без дрожжей можно хранить при температуре -18°C до 10 дней.

При изготовлении печенья применение низких температур позволяет понизить температуру теста при его замесе с целью улучшения свойств теста.

При производстве пряников охлаждают заварное тесто.

Охлаждение вафель в процессе их производства позволяет быстро достичь такой твердости вафельного пласта, которая необходима для его нарезания на порции.

Охлаждение печенья кондиционированным воздухом с низкой влажностью позволяет сократить продолжительность процесса и повысить качество печенья.

При размораживании пирожных и бисквитов с шоколадной или помадочной глазурью возможно ухудшение их качества из-за изменения цвета шоколадной глазури и размягчения помадки.

Многие готовые кондитерские изделия также замораживают для длительного хранения. Пирожные с кремом или взбитыми сливками требуют защиты от усыхания поверхности. Не все начинки и украшения можно замораживать, поэтому кондитерские изделия рекомендуются украшать после размораживания.

Замороженные ароматизированные кондитерские изделия следует хранить только упакованными, чтобы они не передавали запах.

Кондитерские изделия из дрожжевого и недрожжевого теста, имеющие мягкую и влажную поверхность, для которых не нужна хрустящая корочка, размораживают медленно при комнатной температуре. Остальные изделия лучше размораживать при температуре выше 200°C в течение 5 мин. Размораживание в микроволновой печи может привести к образованию жесткой корочки.

В технологических процессах производства сырья и ряда кондитерских продуктов низкие температуры ускоряют изменение состояния продукта. Так, при производстве какао-порошка — при измельчении гранул какао-жмыха в какао-порошок — порошок охлаждается в теплообменнике хладоносителем с температурой до -14°C . В результате жмых приобретает хрупкость, необходимую для последующего измельчения, и продолжительность процесса сокращается.

При производстве пектиносодержащих продуктов (мармелада, пастилы и др.) охлаждение продуктов воздухом с температурой $5-10^{\circ}\text{C}$ ускоряет образование твердой структуры, сокращая в несколько раз

продолжительность процесса, и позволяет глазировать изделия шоколадом.

При изготовлении шоколада шоколадную массу охлаждают сначала холодной водой, циркулирующей в охлаждающих рубашках temperирующих машин, а затем воздухом с температурой ниже 20 °С, чтобы воздействовать на процесс кристаллизации масла-какао и получить мелкокристаллическую и устойчивую во времени его полиморфную форму. В результате шоколад легко извлекается из формы, приобретает блестящую поверхность, необходимые твердость и хрупкость. Шоколадные конфеты с начинкой, плиточный шоколад и фигурные шоколадные изделия охлаждаются в аппаратах при температуре 8 °С и низкой влажности.

Кремовые сбивные конфеты конической формы («Трюфели», «Вечерний звон» и др.) охлаждают после формования воздухом с температурой 10 °С в течение 6–7 мин.

Мягкие сорта отливных и многослойных конфет охлаждают воздухом с температурой 5 °С перед глазированием их шоколадом для сокращения продолжительности процесса.

Приляжный пласт с температурой 65–70 °С охлаждается воздухом с температурой 4–6 °С в течение 6–7 мин в процессе формования перед нарезкой на части, а затем и перед разделением на корпуса.

Отформованная карамель с температурой 65–70 °С охлаждается воздухом с температурой 16–18 °С на конвейере.

Большинство изготовленных конфет рекомендуется охлаждать как можно быстрее для сохранения качества длительный период.

Многие кондитерские изделия гигроскопичны. Они, поглощая влагу из воздуха, могут деформироваться, слипаться, прилипать к поверхности. Поэтому в помещениях, в которых производятся такие продукты, поддерживается и регулируется относительная влажность (и температура) с помощью системы кондиционирования воздуха.

17.6 Плодоовощная промышленность

Многообразные виды фруктов, картофеля, овощей и ягод заготавливают для длительного хранения на фрукто-овощехранилищах. На перерабатывающих производствах осуществляется соление и квашение капусты, огурцов и томатов. Из картофеля, непригодного для длительного хранения, вырабатывают крахмал. Производится замораживание зеленных культур, горошка, ягод, вырабатываются полуфабрикаты.

В условиях холодильников создаются наиболее благоприятные возможности для организации контейнерного хранения растительных продуктов, что облегчает транспортные операции, позволяет более рацио-

нально использовать холодильные емкости, максимально механизировать загрузку камер и выпуск продукции. Большое количество растительной продукции перерабатывается консервными заводами и комбинатами, на которых осуществляется баночное консервирование, — изготовление фруктовых и ягодных компотов, джемов, варенья, овощных консервов и др. Особое место в связи с большим объемом производства занимает консервирование зеленого горошка и переработка томатов, а также производство консервированных овощных, плодовых и ягодных соков. Все консервные предприятия широко используют искусственный холод для хранения сырья и готовой продукции.

Фрукты и овощи — малокалорийные, но весьма ценные продукты питания благодаря содержанию в них биологически активных веществ и витаминов. Вода занимает наибольший удельный вес из всех химических веществ, входящих в состав плодов и овощей. Содержание ее колеблется от 60 до 97%. Вода поддерживает тургор клеток, придает плодам сочность и свежесть. Высокое содержание воды является одной из основных причин нестойкости плодов и овощей при хранении. Сахара в плодах и овощах представлены главным образом глюкозой, фруктозой и сахарозой. Количество сахаров и их состав в различных видах плодов и овощей неодинаковы. Так, в редисе, картофеле, лимонах их содержится в среднем 1–2%, в дынях — до 17%, в винограде — до 25%. В семечковых плодах и арбузах преобладающим сахаром является фруктоза; в луке, цитрусовых и бананах — сахароза; в вишне, черешне, винограде — глюкоза. Крахмал накапливается только в некоторых видах плодов и овощей как резервное вещество. Высокое содержание крахмала наблюдается у картофеля (в среднем 16%), зеленого горошка (5%), сахарной кукурузы (8%). Некоторые незрелые плоды (яблоки, бананы) также содержат крахмал, который при их созревании гидролизует до сахаров. Фрукты и овощи являются ценным источником минеральных веществ, более половины которых приходится на долю калия. Много в плодах и овощах фосфора, кальция и железа. В плодах и овощах представлены все витамины, за исключением В и D, которые отсутствуют в зеленых растениях. Особую ценность плоды и овощи представляют как источник витамина С (аскорбиновая кислота).

Основная структурная единица растительных тканей — это клетка. В каждой клетке содержится ядро, покрытое мембраной. Полужидкое содержимое клетки, занимающее все ее внутреннее пространство, называется цитоплазмой. В цитоплазме находятся запасные питательные вещества клетки в виде включений (капельки жира, зерна крахмала и др.). Снаружи клетка покрыта плотной оболочкой, состоящей в основном из прочной клетчатки. Оболочки клеток склеиваются между собой сло-

ем межклеточного вещества, основу которого составляет протопектин. Плодам и овощам как живым организмам свойствен основной физиологический процесс — дыхание. Сущность дыхания сводится к медленно-ферментативному окислению сложных органических веществ с освобождением энергии. Внешним проявлением дыхания плодов и овощей является поглощение из окружающего воздуха кислорода и выделение диоксида углерода, воды и теплоты как части энергии, не использованной клеткой при ее жизнедеятельности. На дыхание в плодах и овощах в первую очередь расходуются моносахариды, затем дисахариды, полисахариды, жиры, органические кислоты и др. Другой формой взаимодействия с окружающей средой в собранных плодах и овощах является испарение, нарушающее нормальное течение обмена веществ, вследствие чего ослабляется тургорное давление, усиливается дыхание, нарушается энергетический баланс и снижается устойчивость к поражению микроорганизмами. Таким образом, на процессы жизнедеятельности растительные ткани расходуют ценные питательные вещества. Поэтому сразу после сбора плоды и овощи охлаждают для задержки протекающих процессов. Режимы охлаждения и хранения должны обеспечить уменьшение испарения и дыхания, не нарушив, однако, общей координации и естественного течения окислительных процессов, поскольку только ткани с нормальным дыханием обладают необходимой лежкостью.

При хранении в растительных продуктах продолжают, хотя и медленно, физиологические процессы. В плодах происходит созревание: увеличивается содержание сахаров, снижается содержание органических кислот, улучшаются вкус, аромат и окраска. В ходе созревания наступает такое состояние, когда развитие плода уже закончилось, а старение еще не началось. При этом наблюдается климактерический подъем дыхания: выделение CO_2 увеличивается при одновременном, но непропорциональном повышении поглощения кислорода. При пониженных температурах процессы созревания замедляются, что способствует длительному сохранению плодов. Овощи при хранении находятся в состоянии вначале естественного, а затем вынужденного покоя. Покой — это особое состояние растительного организма, характеризующееся временной задержкой всех функций. Естественный или глубокий покой является определенной фазой развития, его продолжительность у отдельных видов и сортов овощных культур различна. Так, морковь, лук репчатый, ранняя капуста имеют короткий, а картофель — длительный период покоя. Вынужденный покой в отличие от естественного наступает при неблагоприятных условиях. Чаще всего он представляет собой продолжение естественного покоя, когда отсутствуют надлежащие условия для прорастания. Для сохранения овощей до нового урожая

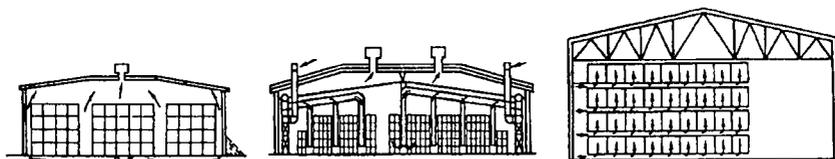


Рис. 17.13. Фрукто-овощехранилища с различной организацией циркуляции воздуха

необходимо создать условия, обеспечивающие длительное и устойчивое состояние покоя.

Под влиянием пониженной температуры у большинства видов овощей усиливаются процессы расщепления крахмала и образование сахаров. В начальный период хранения увеличивается содержание витаминов, повышается устойчивость к инфекционным и физиологическим заболеваниям. Исходя из необходимости максимально понизить интенсивность биохимических процессов и в то же время не нарушить нормальной жизнедеятельности растительного организма, плоды и овощи хранят, как правило, при температурных условиях, приближающихся к нижнему пределу, обычно при температуре, примерно на 1°C превышающей температуру начала замерзания. Исключение составляют те плоды, которые при пониженных температурах подвержены физиологическим заболеваниям, например: бананы хранят при $11\text{--}12^{\circ}\text{C}$, цитрусовые — при $3\text{--}4^{\circ}\text{C}$. Фрукты и овощи хранят в основном при температурах $-1 \dots + 2^{\circ}\text{C}$. Картофель отличается большей чувствительностью к пониженным температурам. Для него характерно влияние температуры на направленность реакции крахмал — сахар. При понижении температуры в клубнях картофеля происходит накопление сахара, а при повышении — увеличивается содержание крахмала. Во избежание осахаривания картофель хранят при $3\text{--}4^{\circ}\text{C}$.

Поступающие на холодильное хранение фрукты и овощи сортируют, отбирая здоровые и свободные от механических повреждений и видимых следов микробиологических повреждений. Как правило, после сортировки растительные продукты подвергают охлаждению и хранению в холодильных условиях. Для охлаждения применяют туннели или камеры, в которых создается циркуляция воздуха (рис. 17.13).

Охлаждение растительных продуктов может осуществляться непосредственно в рефрижераторных вагонах при температуре около 0°C , относительной влажности $90\text{--}95\%$ и интенсивном движении воздуха. Упакованные плоды укладывают с таким расчетом, чтобы воздух свободно омывал их со всех сторон. В некоторых случаях для ускорения охлаждения пользуются передвижными воздухоохладителями. При пе-

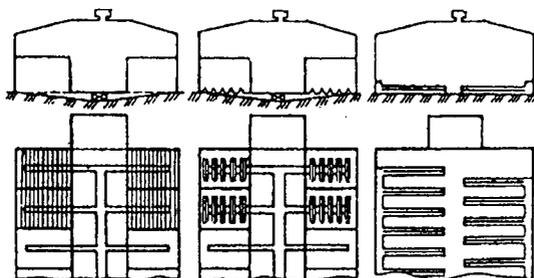


Рис. 17.14. Фрукто-овощехранилища с различными вариантами размещения воздухопроводов в полу

ревозке плодов и овощей на дальние расстояния целесообразно осуществлять охлаждение непосредственно в изотермических вагонах и на станциях предварительного охлаждения. Станция предварительного охлаждения, предназначенная для кратковременного хранения, оснащается воздухоохладителями, которые через воздухопроводы и гибкие рукава соединяются с вентиляционными люками изотермического вагона. Для равномерного охлаждения груза и использования воздуха с отрицательной температурой во избежание подмораживания фруктов и овощей направление воздуха периодически меняется.

В вагонах поездов с охлаждением и воздухоохладителями осуществляется интенсивная циркуляция воздуха, что позволяет охлаждать плоды и овощи в пути следования.

Охлаждение и хранение осуществляются также проточным вентилированием насыпного слоя плодов и овощей. Теплота отводится холодным воздухом, который продувается через всю массу продукции, уложенную слоем толщиной 2–3 м и более (рис. 17.14). Другой способ — охлаждение с применением вакуума в специальных установках, где достигается разрежение до 1,33–1,9 кПа. Путем испарения влаги (1–2%) фрукты и овощи охлаждаются за 15–20 мин независимо от объема тары. Для быстрого охлаждения отдельных видов фруктов и овощей применяют ледяную воду. Охлаждение осуществляется на конвейере. Использованная вода после доохлаждения и дезинфекции вновь поступает для охлаждения плодов и овощей. Для охлаждения плодов непосредственно в местах выращивания перспективно применять разборные, надувные холодильники, в которых осуществляется охлаждение и краткосрочное хранение собранного урожая.

Замораживание фрукто-ягодных и овощных продуктов — эффективный способ их консервирования. Многие фрукты, ягоды и овощи удастся замораживать без существенного нарушения их естественных вку-

совых качеств и аромата. Замороженные плоды и овощи могут употребляться после размораживания как десерт, использоваться при приготовлении салатов, первых и вторых блюд, а также как сырье для производства мороженого, кондитерских изделий, варенья, джемов, овощных консервов и др. Ассортимент замороженных растительных продуктов разнообразен: ягоды, фрукты, овощи плодовые, корнеплоды и др. Предварительная обработка плодов и овощей, направляемых на замораживание, включает несколько основных операций: сортировку, калибровку, очистку, мойку, резку или измельчение, бланширование. Сортировку проводят для получения однородного по качеству сырья. Калибровка заключается в разделении неоднородного по размерам сырья на однородные размерные группы, очистка — в удалении из сырья несъедобных и менее ценных частей. В зависимости от вида сырья при очистке удаляют разные части плодов и овощей — наружный слой кожуры, косточку, семенное гнездо, основание листьев, стеблей и чашечек. Наружный слой кожуры картофеля и овощей удаляют механическими, термическими и химическими методами. Большинство плодов и овощей (за исключением малины, ежевики и клубники) перед замораживанием подвергают мойке с целью удаления с поверхности сырья загрязнений минерального происхождения. Измельчение или резку производят при замораживании крупных плодов и овощей. В зависимости от вида сырья и требований к готовому продукту вид и степень измельчения могут быть различными (половинки, четвертинки, ломтики, полоски, кубики, пюре).

Замораживание свежего растительного сырья сдвигает в нежелательную сторону деятельность растительных ферментов, в результате чего в замороженных овощах при хранении и особенно при их размораживании появляется неприятный привкус и происходит потемнение ткани. Для ликвидации этих нежелательных качественных изменений большинство овощей перед замораживанием подвергают бланшированию — кратковременному (от 1 до 10 мин) нагреву при температуре 80–100°С в воде или в насыщенном паре с целью инактивации тканевых ферментов. Бланшированию подвергают в основном овощи, за исключением огурцов, помидоров, а также овощей с интенсивным натуральным запахом — лук, укроп, петрушка и сельдерей. Из плодов бланшируют яблоки, груши и абрикосы. При бланшировании помимо инактивации ферментов уничтожается значительная часть микроорганизмов. После бланширования сырье имеет высокую внутреннюю температуру, что может привести к излишнему развариванию ткани, значительным потерям витаминов, аромата, интенсивному изменению окраски. Поэтому сразу после бланширования плоды и овощи быстро охлаждают до температуры ниже 10°С холодным воздухом или орошением холодной водой.

Чтобы избежать большого вымерзания воды и до некоторой степени защитить растительные клетки от разрушительного действия низких температур, а также создать приятный вкус ягод, предназначенных для употребления как десерт, к ним до замораживания добавляют сахар или сахарный сироп. Благоприятное действие сахара связано с прекращением доступа кислорода воздуха, а также с предотвращением испарения ароматических веществ. При замораживании таким способом плоды фасуют в стеклянную или жесткую полимерную тару. Обычно для заливки плодов и ягод используют сахарный сироп 40%-ной концентрации, добавляя его в количестве 30–40% массы замораживаемого продукта.

Овощи и фрукты без сахара замораживают в таре или россыпью с последующим фасованием. Подготовленные указанными способами фрукты, ягоды и овощи замораживают в морозильных аппаратах различного типа. Для замораживания фасованных плодов применяют плиточные морозильные аппараты, конвейерные воздушные морозильные аппараты. Для замораживания плодов и овощей россыпью используют воздушные морозильные аппараты с сетчатым конвейером, через который продувается холодный воздух. Наиболее эффективными для замораживания мелких плодов (ягоды, зеленый горошек, фасоль), нарезанных корнеплодов (картофель, морковь, свекла) являются флюидизационные морозильные аппараты, в которых замораживание происходит во взвешенном состоянии. Замораживание в морозильных аппаратах осуществляется при температуре -30°C и ниже. С помощью замораживания концентрирование плодово-ягодных соков осуществляется более успешно, чем упариванием. Для концентрирования соков применяют специальные аппараты, в которых происходит вымораживание из сока воды и отделение образовавшегося льда методом центрифугирования или прессования. В результате получается концентрированный сок, отличающийся от полученного выпариванием лучшим ароматом, вкусом и большим содержанием витаминов. Широко практикуется замораживание смесей, состоящих из различных овощей, пригодных без дополнительной обработки для приготовления первых блюд и гарниров.

Режим холодильного хранения плодов представляет собой совокупность условий хранения. Прежде всего, это — температура, относительная влажность воздуха, интенсивность его циркуляции и вентиляции. Оптимальная температура хранения свежих плодов ограничивается криоскопической и критической температурами. Понижение температуры хранения ниже криоскопической приводит к подмораживанию продукта, в результате чего он теряет потребительские и товарные качества, присущие свежим плодам и овощам. При понижении температуры ниже критической в плодах возникают функциональные расстройства,

проявляющиеся в поверхностном и внутреннем побурении, в отмирании тканей и т. д. Это ухудшает качество плодов и способствует развитию микрофлоры. Относительная влажность воздуха при хранении плодов влияет на интенсивность испарения влаги и рост микроорганизмов. При хранении большинства плодов относительная влажность составляет 90%. Для некоторых овощей, особенно легко увядающих (салат, сельдерей, шпинат, укроп, петрушка), относительная влажность при хранении должна быть выше 90%, а для лука и чеснока — 75–80%.

В камерах хранения плодов применяют систему воздушного охлаждения с принудительной циркуляцией воздуха. Циркуляция воздуха количественно характеризуется двумя параметрами: кратностью, которая выражается как отношение количества подаваемого воздуха к объему незагруженной камеры, и скоростью движения воздуха. В период охлаждения плодов и овощей требуется повышенная кратность циркуляции — 30 и более объемов в час. При установившемся режиме кратность циркуляции 7–15 объемов в час. Оптимальная скорость движения воздуха в период охлаждения и хранения соответственно равна 2,5–3 и 0,1–0,3 м/с. Система воздухораспределения может быть канальная или бесканальная. Перепад температур воздуха камеры и холодильного агента должен быть не больше 3–4°С в период хранения. При увеличении перепада до 8–10°С потери массы плодов возрастают на 25%.

Перспективен способ холодильного хранения растительных продуктов в регулируемой газовой среде (РГС). Изменяя определенным способом газовую среду, например, повышая содержание углекислого газа и уменьшая содержание кислорода, можно снизить интенсивность обменных процессов в хранимых плодах и овощах и тем самым отдалить состояние климактория и старения плода. При хранении плодов в РГС температурно-влажностный режим в камерах поддерживается работой обычного холодильного технологического оборудования (воздухоохладителей и батарей). Необходимые параметры РГС создаются одним из двух способов: внутренней генерацией газовой среды в результате процесса дыхания плодов и овощей и внешней генерацией посредством ввода в камеру специально приготовляемых газовых сред.

Замороженные плоды и овощи перед закладкой на длительное хранение тщательно осматривают, проверяют вкус, цвет и запах. Ящики и контейнеры с замороженными растительными продуктами укладывают в плотный штабель высотой 8–9 рядов. Режим хранения замороженных растительных продуктов при температуре –18°С и ниже обеспечивает их надежную сохранность на протяжении от 12 до 24 мес. Замороженные растительные продукты всегда хранят в герметичной или полугерметичной упаковке.

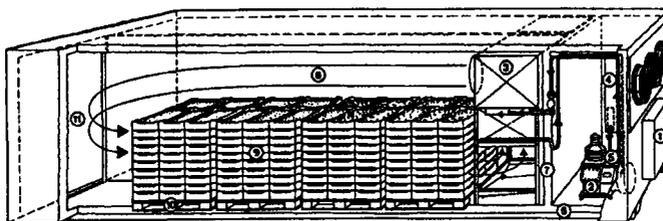


Рис. 17.15. Контейнерный морозильный аппарат

Для замораживания ягод и грибов используют транспортабельные контейнерные морозилки (рис. 17.15).

17.7 Производство замороженных готовых блюд

Замороженные готовые блюда представляют собой кулинарные изделия, подвергаемые замораживанию после предварительной технологической обработки до полной кулинарной готовности. Замороженные готовые блюда выпускают в виде первых и вторых блюд, гарниров, салатов и десертов. Перед употреблением их достаточно только разморозить и разогреть. Быстро замороженными блюдами особенно целесообразно снабжать предприятия общественного питания, в которых отсутствуют условия для приготовления пищи, — вагоны-рестораны, предприятия питания воздушного и водного транспорта, мест отдыха, а также домашние кухни и магазины кулинарии. Замороженные готовые блюда производятся на консервных заводах, мясо- и рыбокомбинатах, в специализированных хладокомбинатах.

Замороженные первые готовые блюда состоят из плотной части супов и концентрированного бульона. Они могут быть овощными, овощекрупяными с мясом или без него, а также грибными. Недостающую часть жидкости (воду, молоко) добавляют к блюду при его размораживании и разогреве непосредственно перед употреблением.

Разнообразен ассортимент замороженных готовых вторых блюд: говядина тушеная, гуляш, баранина, бифштекс рубленый, говядина жареная, рагу из свинины и др. Много готовых блюд изготовляют из рыбы: жареная и отварная рыба, рыбные тефтели, рыбные палочки, фрикадельки и др. В качестве гарниров используют: жареный и вареный картофель, картофельное пюре, тушеную капусту, рассыпчатый рис, гречневую кашу и др.

При изготовлении замороженных готовых блюд предварительная кулинарная подготовка отдельных компонентов, т. е. мойка, чистка, из-

мельчение овощей, обвалка, жиловка и порционирование мяса, смешивание компонентов и дозирование, осуществляется так же, как при обычном производстве продуктов общественного питания. Термическую обработку, т. е. варку, бланширование, жарение, тушение, ведут до кулинарной готовности, с тем чтобы перед употреблением блюдо нужно было только разморозить и довести до кипения или нагреть до заданной температуры.

При производстве готовых вторых блюд наиболее сложным продуктом для замораживания является соус. При замораживании соусов часто происходит их расслаивание с выделением жидкой фазы при последующем размораживании и разогреве. Для предотвращения этого явления в качестве загустителей вместо пшеничной муки используют модифицированный фосфатный крахмал, соевую муку, муку из восковидного риса. При изготовлении замороженных готовых блюд в их рецептуре увеличивают содержание тех специй и овощей, аромат которых при замораживании и холодильном хранении уменьшается (горчица, красный перец, лавровый лист, чеснок). После термической обработки готовые блюда фасуют в горячем или охлажденном виде. Упаковка должна отвечать следующим требованиям:

- не пропускать и не воспринимать посторонних запахов;
- быть влаго- и жиронепроницаемой;
- обладать высокой газонепроницаемостью;
- быть устойчивой к температурам от -40 до 150°C .

Для замороженных готовых блюд в качестве упаковочных материалов используют полипропиленовую пленку, бумагу и картон, покрытые полипропиленом, алюминиевую фольгу и лакированный целлофан и др.

Замораживание готовых блюд производят в аппаратах различного типа: конвейерных с интенсивным движением воздуха температурой не выше -30°C , плиточных, с распылением жидкого азота и др. Оригинальность конвейерного спирального аппарата заключается в сетчатом конвейере, что позволяет организовать движение воздуха сверху вниз через все ряды конвейера. Блюда замораживаются до среднеобъемной температуры -18°C . Для сохранения качества замороженных готовых блюд с момента их изготовления до употребления необходимо поддерживать постоянную температуру -18°C и ниже при хранении на предприятии-изготовителе, при транспортировке, хранении на распределительном холодильнике, в сети общественного питания, торговле. Например, в Европе появился документ НАССР (Hazard Analysis and Critical Control Point), который ужесточает требования к качеству замороженной продукции на всем пути его продвижения от фирмы-

изготовителя до потребителя с регулярной автоматической регистрацией температуры хранения на протяжении года. Причем контролируются также отклонения температуры за заданные пределы как в сторону повышения, так и в сторону понижения. Выдается сигнал тревоги в случаях более продолжительного оттаивания инея с охлаждающих устройств, при открытии дверей холодильной камеры в неурочное время и др.

Концентрированные первые блюда размораживают и разогревают в кипящей воде, бульоне или овощном отваре. Замороженные готовые вторые блюда размораживают и разогревают до температуры 70–80 °С. Процессы размораживания и разогрева блюд до температуры готовности могут осуществляться отдельно или совмещаются в один процесс. Способ размораживания и разогрева зависит от вида блюд. Это обусловлено тем, что одни продукты можно перемешивать без ухудшения качества, при перемешивании других снижается качество и ухудшаются характеристики продуктов. Для размораживания и разогрева продуктов применяют следующие виды печей: конвекционные; с паровым и водяным обогревом; микроволновые.

17.8 Производство пива и безалкогольных напитков

Пиво — слабоалкогольный напиток (массовая доля спирта в пиве до 6,0 %), получаемый сбраживанием специальными пивными дрожжами суслу из ячменного солода и воды с добавлением хмеля. Основным сырьем для приготовления пива являются ячмень, хмель, вода, дрожжи. Для изготовления некоторых сортов пива часть ячменного солода заменяется мукой хлебных злаков (рис, кукуруза и ячмень) и сахаром. Основные процессы в производстве пива — приготовление солода, приготовление и брожение суслу, выдержка пива, его фильтрация и розлив. Приготовление солода начинают с замачивания и проращивания ячменя. При проращивании в ячмене накапливаются растворимые вещества, ферменты, которые расщепляют крахмал на более простые растворимые углеводы. Затем зеленый солод поступает на сушку. При этом удаляется влага, ростки, солод приобретает определенный вкус, аромат и цвет, передаваемые затем пиву. В зависимости от температуры и продолжительности сушки получают светлый или темный солод, который используется для приготовления соответственно светлого или темного пива.

Проращивают ячмень в специальных теплоизолированных помещениях — солодовнях, которые бывают токовыми и пневматическими. Для отвода теплоты дыхания, выделяющегося при прорастании ячменя, токовые солодовни оборудуют пристенными рассольными батареями, поддерживающими температуру воздуха в пределах 10–12 °С. Воз-

духоохладители в токовых солодовнях применять не рекомендуется, так как при этом солод в грядках подсушивается. В пневматических солодовнях солодоращение осуществляется в ящиках или барабанах с продуванием через слой прорастающего зерна увлажненного и охлажденного воздуха. Солодоращение происходит с выделением 18 000 кДж теплоты на каждый килограмм потери сухих веществ.

Для приготовления пивного сусла солод дробят и смешивают с подогреваемой водой (затирают). В «заторе» протекают ферментативные процессы, в результате которых часть сухих веществ затора переходит в раствор, образуя экстракт. Затор фильтруется для отделения сусла. Полученное сусло кипятят с хмелем. Хмель — высушенные соцветия многолетнего растения семейства конопляных. Горькие хмелевые вещества, эфирные масла и дубильные вещества хмеля придают пиву горький вкус и аромат, влияют на ценообразование, повышают стойкость пива. После удаления отработавшего хмеля сусло охлаждают.

Горячее пивное сусло охлаждают в две стадии: вначале медленно на холодильных тарелках или в отстойных чанах до 60 °С, а затем быстро в открытых оросительных или закрытых пластинчатых охладителях до 5–6 °С. Охладительная тарелка представляет собой плоский открытый прямоугольный сосуд, в который наливается сусло, высотой слоя не более 10–20 см. Охлаждение происходит в основном за счет испарения воды и потерь теплоты в окружающую среду через стенки тарелки. Продолжительность охлаждения 1,5–2 ч. На тарелках сусло хорошо аэрируется и освобождается от взвешенных частиц. Отстойно-охладительный чан выполняется в виде цилиндрического закрытого резервуара, который оборудуется внутренним охлаждающим змеевиком или наружной охлаждающей рубашкой, через которые пропускается вода. Длительность охлаждения суслу в таких аппаратах 30–40 мин. Затем сусло подается в оросительные или пластинчатые охладители одно- или двухсекционного типа. Охлаждение осуществляется водой, рассолом или при непосредственном кипении хладагента. Охлажденное сусло имеет температуру 5–6 °С.

В охлажденное сусло вводят специальные расы пивных дрожжей и подвергают его брожению. Брожение имеет две стадии: главное брожение и дображивание. При главном брожении, которое ведется в бродильных аппаратах при 5–10 °С и продолжается 7–11 сут в зависимости от концентрации суслу, сбраживается наибольшая часть сахара. В результате получается молодое, так называемое «зеленое пиво», еще не годное к употреблению. Дображивают пиво в закрытых резервуарах под давлением 30–70 кПа при 1–4 °С в течение 11–90 сут (в зависимости от сорта). При дображивании пиво насыщается диоксидом углерода

да, осветляется и приобретает выраженный вкус и аромат. Бродильные аппараты оборудованы трубчатыми змеевиковыми или пластинчатыми охладителями или охлаждающими рубашками. Выделяющаяся при брожении теплота отводится циркулирующей по охладительным устройствам водой температурой 1°C . При внесении в сусло дрожжей его температура повышается с $5-6$ до $9-10^{\circ}\text{C}$ и сусло начинают охлаждать. Охлаждение прекращают, когда брожение замедляется и температура в чане начинает падать. В конце брожения молодое пиво вновь охлаждают до 4°C .

При дображивании температура пива поддерживается вначале на уровне 4°C , а затем понижается до $1-2^{\circ}\text{C}$. В бродильных отделениях поддерживается температура воздуха около 1°C при относительной влажности $70-75\%$. В качестве холодильного технологического оборудования применяются воздухоохладители и пристенные батареи. Процессы главного брожения, дображивания и хранения до розлива могут осуществляться в одном танке, оборудованном несколькими змеевиками, расход хладоносителя по которым регулируется в зависимости от стадии процесса производства пива.

Готовое пиво фильтруют и направляют в специальные сборники, из которых его подают на розлив в бутылки, бочки и изотермические автоцистерны. Для увеличения стойкости пиво иногда пастеризуют в специальных аппаратах путем нагревания и выдержки при температурах $63-70^{\circ}\text{C}$ с последующим охлаждением до $10-12^{\circ}\text{C}$.

Склады готовой продукции охлаждают до $10-12^{\circ}\text{C}$ с помощью воздухоохладителей, через которые циркулирует хладоноситель или хлад-агент.

Таким образом, в пивоварении искусственный холод применяют в технологических процессах выработки солода и пива, для поддержания необходимых параметров воздуха в производственных помещениях, при хранении готовой продукции и хмеля. В зависимости от особенностей предприятия и вида вырабатываемой продукции в пивоваренной промышленности применяют различное холодильное технологическое оборудование на отдельных стадиях технологического процесса.

При замачивании ячменя используется артезианская или охлажденная до $10-15^{\circ}\text{C}$ вода. Иногда артезианскую воду закачивают в водонапорные башни, где она находится длительное время под воздействием солнечных лучей. Естественно, что вода нагревается и ее применение для охлаждения становится нецелесообразным. Для охлаждения производственных помещений и технологического оборудования применяют централизованные аммиачные одноступенчатые холодильные установки с промежуточным хладоносителем. На каждом предприятии имеет-

ся несколько холодильных систем, отличающихся температурами кипения и предназначенных для обслуживания различных технологических процессов. Безалкогольные напитки представлены следующими группами: минеральные воды, газированные напитки, плодово-ягодные напитки (сиропы, соки, экстракты), хлебный квас. При производстве газированных напитков искусственный холод применяется при изготовлении сиропа, его купажировании, приготовлении газированной воды в розлив.

Сахарный сироп готовят в сироповарочном котле с паровой рубашкой. Уваренный до заданной концентрации горячий сироп фильтруют и охлаждают в пластинчатых или трубчатых охладителях вначале водой со 100 до 30–40 °С, а затем жидким хладоносителем до 10–15 °С. Следующей операцией является купажирование сахарного сиропа — введение в него предусмотренных рецептурой добавок: пищевых кислот, плодовых экстрактов, ароматных настоев, натуральных и синтетических эссенций. Купажирование проводят холодным, полугорячим или горячим способами в сироповарочных котлах. Полученный купажный сироп охлаждается в охладителях пластинчатого или трубчатого типа до 6–8 °С и подается на линию розлива. Газированную воду готовят из питьевой воды, которая после фильтрации и охлаждения до 1–2 °С подается в сатураторы, где насыщается диоксидом углерода под давлением 0,3–0,6 МПа. На линии розлива охлажденные купажный сироп и газированная вода наливаются в бутылки, которые укупориваются и направляются в экспедицию. В помещениях купажного цеха, цеха розлива и экспедиции с помощью воздухоохладителей поддерживается температура 10–15 °С.

Хлебный квас и хлебные газированные напитки готовят из концентрата квасного сусла, сахара, ржаного и ячменного солода, квасных хлебцев, воды и другого сырья. Изготовление кваса сводится к разведению концентрата сусла водой, комбинированному молочнокислому и спиртовому брожению и купажированию. Хлебные газированные напитки готовят без брожения путем смешивания сусла с сахаром, молочной кислотой и различными добавками, с последующим насыщением диоксидом углерода. Сбраживание квасного сусла осуществляется в бродильно-купажных аппаратах, снабженных плоскими или спиральными охладителями или охлаждающими рубашками. Брожение проводят при температуре 28–30 °С в течение примерно 12 ч. В конце брожения квас быстро охлаждается до 6–10 °С и направляется на розлив.

В охлаждаемых помещениях квасоварочного цеха поддерживается температура в пределах 8–15 °С.

17.9 Производство вина

Холод при производстве вин применяется для охлаждения и отставивания сусла, поддержания температуры в процессах брожения, стабилизации вин, концентрирования сусел и вин.

В процессе обработки холодом выпадают в осадок винный камень, соли металлов, коагулируются нестойкие белки и пектины, дубильные и красящие вещества, улучшается растворение кислорода, ускоряется созревание вин. Температурный режим, продолжительность обработки холодом, охлаждение в потоке или в резервуарах определяется технологией производства и, естественно, марками вин. Температурный диапазон лежит в пределах от -8 до $+14$ °С. Коньячные купажи обрабатывают холодом при температуре $-10 \dots -12$ °С. Выдержка ликеров после купаживания осуществляется при температуре $8-20$ °С.

Стабильное поддержание температуры в процессах брожения повышает качество винных материалов, так как высокая температура приостанавливает развитие дрожжевых клеток, частично улетучиваются ароматические вещества, происходят потери спирта. Низкие температуры задерживают брожение. Поэтому в зависимости от вида вин поддерживается температура с колебанием не более 2 К. Шампанские и марочные вина бродят при температурах $15-20$ °С, а для красных столовых вин поддерживается температура на уровне $28-30$ °С.

Хранение виноматериалов после брожения производится при температурах $2-8$ °С, столовых и мускатных — при $10-12$ °С. В процессе производства применяется отдых вин перед розливом. В период отдыха поддерживают температуру на уровне $10-16$ °С в зависимости от вида вина. Коньячные виноматериалы хранят при температурах $10-15$ °С.

Растительное сырье для ароматизированных вин хранят при температурах $0-4$ °С и относительной влажности воздуха не ниже 65%.

МЕХАНИЗАЦИЯ ПОГРУЗО-РАЗГРУЗОЧНЫХ РАБОТ

Предприятия, связанные с переработкой пищевой продукции, характеризуются большим объемом погрузочно-разгрузочных работ. При этом наибольшей трудоемкостью отличаются работы с мелкими партиями грузов. Вид используемой механизации определяется характером продуктов, наличием упаковки, возможностями пакетирования, типом предприятия, объемно-планировочными решениями. Так, например, молоко поступает на молокоперерабатывающее предприятие во флягах или в цистернах, поэтому предусматривается механизация перекачивания молока с автоматическим определением массы или объема и экспресс анализом качества. На овощехранилища привозят овощи в таре или навалом, естественно, требуется другая организация разгрузки.

Использование упаковки для штучных, сыпучих и жидких продуктов, их укладка в стандартные виды тары (бочки, коробки, ящики), применение пакетирования на унифицированных поддонах (рис. 18.1) или в транспортные тара-контейнеры позволяет снизить долю ручного труда, трудоемкость выполнения погрузочно-разгрузочных работ и максимально его механизировать, а в ряде случаев и автоматизировать.

Выбор способа транспортирования продуктов в процессе производства определяется несколькими факторами: объемом продукции, видом продуктов, возможностью применения упаковки, видом упаковки, необходимостью складирования, продолжительностью хранения и др. При малом объеме продукции используются ручные тележки. Большой объем перевозимой продукции позволяет использовать ручные гидравлические подъемники с низким или высоким подъемом вил. Грузоподъемность ручных подъемников достигает до 2 т.

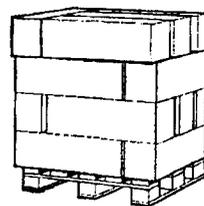


Рис. 18.1. Пакетирование продуктов:

Поточное производство делает целесообразным применение конвейеров, что позволяет существенно снизить долю ручного труда и автоматизировать промежуточные операции. Широко применяются конвейеры в производстве мороженого (рис. 18.2), в процессах охлаждения и замораживания мяса в тушах и полутушах на предприятиях по переработке фруктов и овощей.

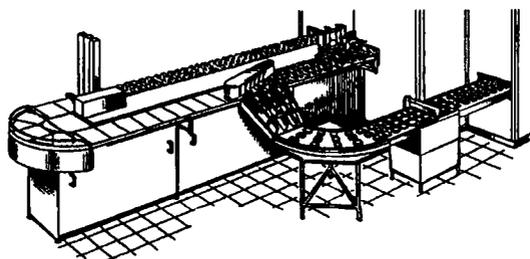


Рис. 18.2. Конвейер в производстве мороженого

Процессы разгрузки картофеля и овощей, перевозимых в контейнерах, также механизуют, используя устройства для подъема и переворачивания контейнеров.

Широкое распространение в процессах погрузки и выгрузки штучных товаров, как в пакетах на поддонах, так и одиночных крупногабаритных получили погрузчики (рис. 18.3). Фирмами производятся погрузчики с электроприводом и с двигателями внутреннего сгорания. Погрузчики, оборудованные двигателями внутреннего сгорания и использующие в качестве топлива сжиженный газ, допускается применять при работе в помещениях, так при сгорании такого топлива выделяется диоксид углерода и вода. Установка на выхлопе двигателя фильтра удаляет возможные примеси и позволяет работать на подобных погрузчиках в помещениях пищевых предприятий. На пищевых предприятиях в основном используются погрузчики грузоподъемностью от 500 до 1500 кг, что определяется массой транспортируемых пакетов и допустимой нагрузкой на пол железнодорожных вагонов. Высота подъема вилок применяемых погрузчиков от 1,6 до 4,5 м. Большое внимание уделяется маневренности погрузчика, чем меньше требуется пространство для передвижения погрузчика и его поворотов, тем больше можно разместить продуктов в холодильной камере, так как уменьшается площадь, занимаемая проездами (рис. 18.4). Использование погрузчика показано на примере складирования картофеля в контейнерах.

Большей компактностью по сравнению с погрузчиками отличаются электроштабелеры, пакет груза в которых размещается в пределах габаритов штабелера или несколько выступает за него. Водитель сидит боком по направлению движения. При установке пакета в штабель он выдвигается за пределы штабелера. Штабелеры работают в пределах камеры, а пакеты подвозятся погрузчиками или гидравлическими подъемниками.

На многоэтажных холодильниках используются для подъема на этажи лифты. Из-за двойной перегрузки продуктов затягиваются загрузки-

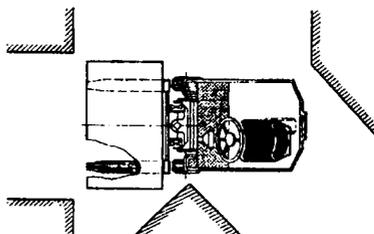
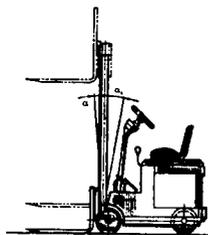


Рис. 18.3. Электропогрузчик Рис. 18.4. Оценка маневренности погрузчика

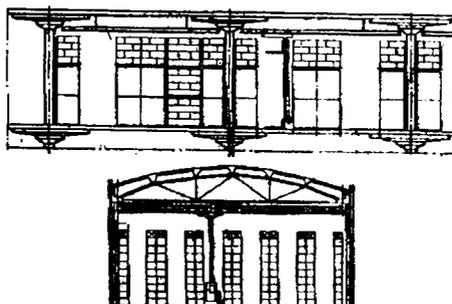


Рис. 18.5. Размещение стеллажей при использовании кранов-штабелеров

разгрузочные работы. Поэтому разрабатываются и реализуются различные варианты высотных холодильников, в которых продукты хранятся в пакетированном виде на стеллажах. Требования удобства доступа к любому пакету приводят к необходимости попарного расположения стеллажей и появлению большого числа проездов для штабелеров (рис. 18.5). Большая высота подъема грузов предопределила применение кранов-штабелеров. При высоте подъема до 10 м используются краны-штабелеры с одной точкой опоры, а при большей высоте подъема с двумя: верхней и нижней. Стеллажное хранение, маркировка пакетов с продукцией, размещение кранов-штабелеров позволяет реализовать идею автоматизированного склада-холодильника. Опыт эксплуатации аналогичных складов показывает их экономичность при грузообороте не менее 100 объемов хранения в год.

Желание более полно использовать охлаждаемый объем привело к созданию разборных стеллажей и к установке пакетов на роликовые тележки, передвигающиеся по направляющим стеллажей. Несмотря на резкое уменьшение числа проездов и, следовательно, более полное использование объема помещения для хранения продукции эти решения пока не нашли широкого применения.

Учебное издание

Румянцев Ю.Д., Калюнов В. С..

ХОЛОДИЛЬНАЯ ТЕХНИКА

Учебник

Ответственный редактор: О. Камнева

Верстка: Е. Чайкун

Обложка: Р. Бабкина

Издательство «Профессия»

Санкт-Петербург, 191002, а/я 600

Тел./факс: (812) 316-27-93, 140-12-60, e-mail: info@professija.ru

Лицензия ИД №00469 от 25.11.99 г.

Подписано в печать 24.07.03. Формат 60 × 88 ¹/₁₆. Уч.-изд. л. 22,5.

Бумага офсетная. Печать офсетная. Тираж 3000 экз.

Зак. 278

Отпечатано с готовых диапозитивов
в ФГУП ордена Трудового Красного Знамени «Техническая книга»
Министерства Российской Федерации по делам печати,
телерадиовещания и средств массовых коммуникаций
198005, Санкт-Петербург, Измайловский пр., 29