

Н. Н. Тихонов, М. А. Шерышев

ПЕРИФЕРИЙНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ЗАВОДОВ ПЛАСТМАСС

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ ДЛЯ ВУЗОВ

2-е издание, исправленное и дополненное

*Допущено учебно-методическим объединением по образованию
в области химической технологии и биотехнологии в качестве
учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся
по направлению «Химическая технология»*

Книга доступна в электронной библиотечной системе
biblio-online.ru

Москва ■ Юрайт ■ 2018

УДК 678(075.8)
ББК 35.71я73
Т46

Авторы:

Тихонов Николай Николаевич — кандидат химических наук, доцент кафедры технологии переработки пластмасс факультета нефтегазохимии и полимерных материалов Российского химико-технологического университета имени Д. И. Менделеева;

Шерышев Михаил Анатольевич — профессор, доктор технических наук, профессор кафедры технологии переработки пластмасс факультета нефтегазохимии и полимерных материалов Российского химико-технологического университета имени Д. И. Менделеева.

Рецензенты:

Скопинцев И. В. — кандидат технических наук;

Коршак Ю. В. — доктор химических наук, профессор Российского химико-технологического университета имени Д. И. Менделеева.

Тихонов, Н. Н.

Т46 Периферийное оборудование заводов пластмасс : учеб. пособие для вузов / Н. Н. Тихонов, М. А. Шерышев. — 2-е изд., испр. и доп. — М. : Издательство Юрайт, 2018. — 292 с. — (Серия : Университеты России).

ISBN 978-5-534-05157-5

Серия «Университеты России» позволит высшим учебным заведениям нашей страны использовать в образовательном процессе издания (в том числе учебники и учебные пособия по различным дисциплинам), подготовленные преподавателями лучших университетов России и впервые опубликованные в издательствах университетов. Все представленные в этой серии работы прошли экспертную оценку учебно-методического отдела издательства и публикуются в оригинальной редакции.

Учебное пособие посвящено вспомогательному периферийному оборудованию, используемому в процессах переработки пластмасс. В нем представлено оборудование для термостатирования и охлаждения, рассмотрены общие принципы организации системы охлаждения на производствах переработки пластмасс, показан порядок очистки воды на предприятиях переработки пластмасс, оборудование для декорирования изделий, а также промышленные роботы и манипуляторы.

Соответствует актуальным требованиям Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования.

Для студентов высших учебных заведений, а также преподавателей вузов, занимающихся подготовкой специалистов в области оборудования и технологии переработки полимерных материалов.

УДК 678(075.8)

ББК 35.71я73



Все права защищены. Никакая часть данной книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме без письменного разрешения владельцев авторских прав. Правовую поддержку издательства обеспечивает юридическая компания «Дельфи».

© Тихонов Н. Н., Шерышев М. А., 2015

© Тихонов Н. Н., Шерышев М. А., 2018,
с изменениями

© ООО «Издательство Юрайт», 2018

ISBN 978-5-534-05157-5

Оглавление

Предисловие	5
Глава 1. Оборудование для термостатирования и охлаждения	7
1.1. Термостаты	7
1.2. Водохладители (холодильники, чиллеры)	14
1.2.1. Парокомпрессионные холодильники	15
1.2.2. Энергосберегающие системы с естественным охлаждением	26
1.2.3. Абсорбционные системы охлаждения	40
1.3. Общие принципы организации системы охлаждения на производствах переработки пластмасс	42
1.4. Рекомендации по расчету необходимой холодопроизводительности термостатирующего оборудования при производстве изделий из пластмасс	45
1.5. Общие рекомендации по выбору системы охлаждения	47
<i>Литература</i>	<i>47</i>
Глава 2. Оборудование для водоподготовки.....	49
2.1. Порядок очистки воды на предприятиях переработки пластмасс.....	51
2.1.1. Очистка от нерастворимых механических частиц	51
2.1.2. Реагентная обработка	53
2.1.3. Борьба с биологическим обрастанием	54
2.1.4. Умягчение воды.....	56
2.1.5. Обезжелезивание воды	57
2.2. Мембранные системы	60
2.2.1. Устройство и принцип действия мембранных систем	60
2.2.2. Ультрафильтрация.....	65
<i>Интернет-ресурсы</i>	<i>66</i>
Глава 3. Оборудование для декорирования изделий	67
3.1. Оборудование для металлизации изделий	82
3.2. Оборудование для этикетирования полимерной тары.....	95
3.3. Оборудование для поверхностного окрашивания изделий и нанесения на них печати.....	96
3.3.1. Подготовка поверхностей изделий.....	97
3.3.2. Окрашивание поверхности изделий	101
3.3.3. Печать сетчатыми шаблонами	104
3.3.4. Тампонная печать	108
3.3.5. Офсетная и типоофсетная печать.....	113
3.3.6. Флексографическая печать	120

3.3.7. Трафаретная печать	125
3.3.8. Глубокая печать	132
3.3.9. Ультрафиолетовая печать	134
3.4. Оборудование для горячего тиснения и декалькомании	137
3.5. Оборудование для флокирования	145
3.6. Оборудование для ламинирования пленок.....	146
3.7. Оборудование для ламинирования профилей	150
3.8. Оборудование для термопечати на профилях.....	168
<i>Литература</i>	172
Глава 4. Оборудование для механообработки.....	173
4.1. Галтовочное оборудование	174
4.2. Оборудование для удаления литников с изделий	181
4.3. Оборудование для обработки поверхностей изделий	188
4.4. Оборудование и инструменты для подготовки мерных заготовок для термоформования и разделительной штамповки	199
4.5. Оборудование и инструменты для обработки изделий, отформованных из листовых полимеров.....	217
4.6. Оборудование для сверления отверстий.....	230
<i>Литература</i>	234
Глава 5. Оборудование для упаковки	236
<i>Литература</i>	257
Глава 6. Промышленные роботы и манипуляторы.....	258
6.1. Общие сведения о роботах.....	258
6.2. Три поколения роботов и области их применения	260
6.3. Промышленные роботы	263
6.4. Устройство промышленных роботов.....	265
6.5. Характеристика механической системы	267
6.6. Общая характеристика систем управления промышленных роботов.....	278
6.7. Методы программирования роботов.....	280
6.8. Некоторые типовые конструкции промышленных роботов	281
6.9. Состояние и перспективы применения робототехники при изготовлении изделий из пластмасс	285
<i>Литература</i>	289
Рекомендуемая литература	291
Новые издания по дисциплине «Процессы и аппараты химических производств» и смежным дисциплинам	292

Предисловие

Учебное пособие посвящено вспомогательному периферийному оборудованию, используемому в процессах переработки пластмасс.

Книга состоит из шести разделов, в которых рассмотрено оборудование для термостатирования и охлаждения формуемых изделий, оборудование, предназначенное для подготовки воды, используемой в процессах охлаждения и термостатирования, также описано оборудование для декорирования изделий и механической обработки готовых изделий, конструкция роботов и манипуляторов, облегчающих труд работников и позволяющих интенсифицировать процессы переработки.

Пособие предназначено для студентов высших учебных заведений, а также преподавателей вузов, занимающихся подготовкой специалистов в области оборудования и технологии переработки полимерных материалов.

В результате изучения курса студент должен:

знать

- современные тенденции использования периферийного оборудования в аппаратурном оформлении технологических процессов производства изделий из пластмасс;
- современные конструкции периферийного оборудования для переработки полимеров;

уметь

- составлять и анализировать современные технологические схемы основных процессов переработки пластмасс, уметь их оптимизировать и наполнять передовым периферийным оборудованием;
- выбирать периферийное оборудование для конкретных технологических процессов с учетом химических и физико-химических свойств полимерных материалов;
- находить нестандартные методы использования периферийного оборудования при решении задач аппаратурного и технологического оформления процессов переработки полимеров;

владеть

- представлениями о функциональном назначении и роли периферийного оборудования в организации современных процессов производства изделий из полимерных материалов;
- общими принципами оптимизации периферийных процессов в переработке полимеров с использованием современного оборудования;

- навыками использования современного периферийного оборудования при аппаратурном оформлении современных инновационных технологических процессов производства изделий из полимеров.

Глава 1

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ТЕРМОСТАТИРОВАНИЯ И ОХЛАЖДЕНИЯ

Оборудование для охлаждения и термостатирования занимает особое место в ряду других вспомогательных или периферийных установок, так как, во-первых, без системы охлаждения основное оборудование работать не в состоянии, а во-вторых, от организации системы охлаждения напрямую зависит технологический режим производства изделий из полимерных материалов, или другими словами, — качество выпускаемой продукции [1].

Применение термостатирующего оборудования позволяет:

- получить более высокое качество готового изделия;
- обеспечить точное соблюдение технологии производств;
- сократить время цикла, а следовательно, увеличить производительность и улучшить экономические показатели производства;
- снизить количество брака конечной продукции;
- снизить количество отходов при выходе на режим, за счет начального прогрева.

Для поддержания необходимого температурного режима в технологических процессах переработки пластмасс наибольшее применение нашли термостаты и чиллеры различных типов и модификаций.

1.1. Термостаты

Поддержание повышенных температур является неотъемлемым условием проведения технологического процесса при работе целого ряда как основного, так и вспомогательного оборудования, используемого на предприятиях по переработке пластмасс. Широко используется жидкостной обогрев на вальцах, каландрах, смесителях, ряде экструзионных агрегатов (например, в гладильных каландрах листовальных линий) и т.д. С помощью жидкостного обогрева поддерживается необходимая температура различного формующего инструмента. Однако наиболее широко термостаты в настоящее время используются в процессах литья под давлением. Поэтому именно этим термостатам в данном разделе будет уделено больше внимания.

Термостатирование литьевой формы необходимо для разогрева и поддержания в ней на протяжении всего времени работы машины

определенной температуры, оптимальной для данного типа полимера. Это обеспечивает высокое качество изделий, минимальное количество брака (по данным Института переработки пластмасс города Аахена (Германия), 24% от общего количества брака возникает вследствие неправильной температуры формы) и позволяет оптимизировать технологический процесс.

При завышении температуры формы увеличивается время охлаждения, усадка после извлечения изделия из формы. Заниженная температура литьевой формы приводит к образованию дефектов поверхности изделия (снижению глянца, возникновению следов течения и линий спая), повышению внутренних напряжений и, вследствие этого, к короблению изделия.

Оптимальные температуры форм при литье термопластов под давлением приведены в табл. 1.1 [2].

Таблица 1.1

Оптимальные температуры литьевых форм при переработке термопластов

Полимер	Температура, °С
Полиэтилен	20—60
Полистирол	15—50
Сополимеры стирола	40—80
Поливинилхлорид	30—50
Полиметилметакрилат	40—80
Полиоксиметилен	40—120
Полиоксифенилен	80—120
Полиамид	60—100
Поликарбонат	80—110
Полибутилентерефталат	60—80
Полиэтилентерефталат	120—140

Рациональный подбор температурных режимов позволяет ликвидировать нестабильность размеров при изготовлении в многоместной литьевой форме очень мелких деталей, исключить появление облоя при изготовлении деталей сложной конструкции, в которых его зачистка существенно увеличивает трудозатраты. Даже при работе на старых и уже довольно изношенных термопластавтоматах, используя термостатирование литьевых форм, можно добиться положительного эффекта.

Термостатирующее оборудование должно иметь достаточную тепловую мощность для нагрева теплоносителя и достаточную мощность охлаждения для быстрого снижения температуры в охлаждающих контурах.

Система термостатирования литейной формы включает три компонента: литейную форму, термостат (терморегулятор, термоконтроллер) и теплоноситель, который должен обеспечивать хороший теплообмен для снабжения или отвода большого количества тепла за короткий промежуток времени. В качестве теплоносителя чаще всего применяются вода или масло.

Термостат (термоконтроллер) — устройство, предназначенное для прогрева и последующего точного поддержания температуры устройств в различных технологических процессах. Термостаты классифицируются по диапазону рабочих температур [3]:

- термостаты высоких температур (до 300°C);
- термостаты средних температур (до 180°C);
- термостаты низких температур (до 95°C).

С помощью термостата задается температура, поддерживаемая постоянной, сколько бы времени ни работало перерабатывающее оборудование.

Для обеспечения равномерности охлаждения термостатирующее устройство посредством оптимальной регулировки должно обеспечивать низкие колебания температуры формы: на входе и выходе разница температур должна быть от 1 до 3°C. Но в любом случае очень важна точность терморегулирования, которая может порой значительно отличаться — как по диапазону (0,4—1,5°C), так и по скорости реагирования на изменения температуры (термостат или ПИД-микропроцессор).

Термостат для литейных форм состоит из электрической части с регулятором температуры, указателем, элементами управления, выключателями и предохранителями, а также нагревателя, охладителя, насоса и предохранительных элементов [2].

Принципиальная схема термостата приведена на рис. 1.1, а на рис. 1.2 показана одна из возможных монтажных схем такого устройства [4].

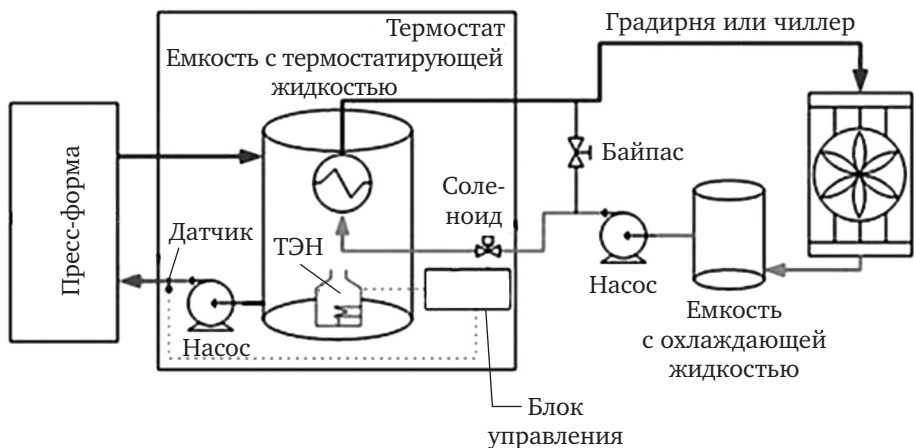


Рис. 1.1. Принципиальная схема термостата для литейных форм

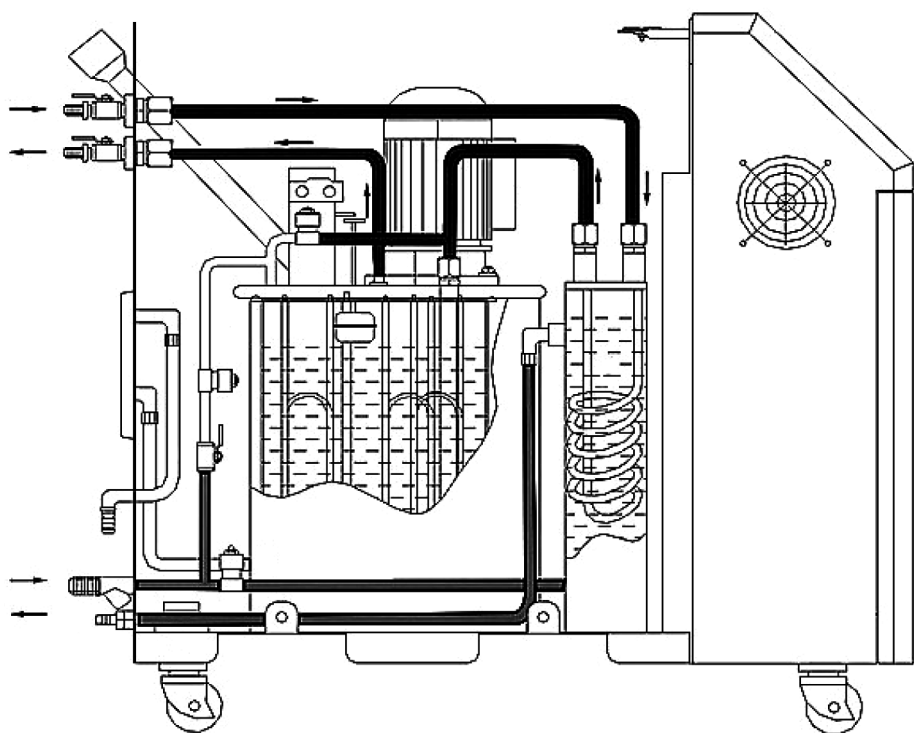


Рис. 1.2. Схема термостата для литевых форм

Водяные термостаты — это термостаты, роль теплоносителя в которых играет вода.

Она может находиться в контуре при нормальном давлении (тогда максимальная температура нагрева составляет 95°C) или под давлением (перегретая вода, температура нагрева до 180°C). Также существуют версии термостатов, работающие с разрежением в контуре нагрева, они используются для нагрева форм, в контурах которых есть утечки. Тогда в месте разгерметизации начинает «подсасываться» воздух, который потом удаляется через специальный клапан в термостате. Водяной термостат может быть использован в различных технологических процессах переработки пластмасс.

В *масляных термостатах* роль теплоносителя играет масло. Они применяются при необходимости прогреть литевую форму или что-либо еще до температуры $150\text{—}350^{\circ}\text{C}$. Данный тип термостатов является сложным высокоточным техническим устройством. Для работы с масляными термостатами необходимы также специализированные шланги подключения. Но в целом эксплуатация масляного термостата не очень сложна и они широко применяются в различных производственных областях.

При использовании водяных и масляных термостатов для обогрева холодноканальных форм имеются свои особенности. Дело в том что в этих формах очень сильно повышается количество брака готовой продукции, связанного с непроливом готового изделия. Иногда получение качественной продукции на холодноканальной форме без термостатирования невозможно, поскольку форма забирает большое количество тепла от детали.

Так как холодноканальные литевые формы не подразумевают наличия нагревательных элементов в самой форме, то производитель сталкивается с необходимостью внешнего подогрева формы. В данной ситуации есть два решения:

— прогрев формы с помощью материала, при этом варианте определяется первая партия деталей, которая заведомо считается браком, причем количество материала, необходимого при таком прогреве, зависит от размеров и веса формы, а также точности изделия;

— использование термостата для термопластавтомата, которое позволит без потерь материала подогреть форму до рабочей температуры.

Использование водяных и масляных термостатов для обогрева горячеканальных форм позволяет значительно повысить качество продукции, за счет точного поддержания необходимой температуры литевой формы и исключения ее колебаний. Это особенно важно, если существует необходимость точно выдерживать размеры изделий, качество поверхности и т.п.

В зависимости от назначения различают одноконтурные и многоконтурные термостаты.

Одноконтурные термостаты — это отдельные, установленные стационарно или мобильные установки, подсоединяемые к охлаждаемому оборудованию с помощью шлангов, и находящиеся, как правило, рядом с основным оборудованием.

Их преимущества:

- простота эксплуатации;
- относительно невысокая стоимость;
- подходит практически к любому процессу термостатирования.

К недостаткам одноконтурных термостатов надо отнести:

- для многоконтурных систем требуется установка разветвителя (гребенки);
- контроль температуры осуществляется на выходе из термоконтроллера в литевую форму;
- контроль температуры в многоконтурных системах не может быть осуществлен в каждом контуре отдельно, так как теплоноситель в каждый канал поступает с одинаковой температурой.

Многоконтурные термостаты используются, как правило, для многоконтурных литевых форм. Количество контролируемых каналов может быть от 4 до 128.

Многоконтурные термостаты — это интегрированные многоблочные системы, подсоединяемые к охлаждаемому оборудованию с помощью коротких шлангов и закрепленные на термопластавтоматах рядом с половинками литевой формы.

Регулирование температуры осуществляется за счет прямой подачи охлаждающей воды в каналы литевых форм. Контроль температуры каждого канала проводится на выходе из канала индивидуальным расходомером. Регулировка температуры каждого канала осуществляется индивидуальным импульсным клапаном. Весь процесс контролируется на панели управления, находящейся рядом с термопластавтоматом или закрепленной на нем.

Многоконтурные термостаты обладают следующими преимуществами:

- каждый канал охлаждается (термостатируется) отдельно, вплоть до полного отключения охлаждения;
- температура контролируется и автоматически регулируется сразу на выходе из канала охлаждения;
- отвод тепла осуществляется только прямым охлаждением, теплоносителем, циркулирующим в контуре охлаждения;
- простота эксплуатации;
- точность регулирования температуры в каждом канале (это почти недостижимо в классическом термостате);
- можно локально влиять на распределение температур при литье изделия;
- сокращается время охлаждения в цикле и, соответственно, уменьшается время цикла;
- появляется возможность отслеживать образование накипи на стенках каждого канала охлаждения;
- отсутствуют изнашивающиеся элементы (насосы);
- экономия до 40% электроэнергии за счет отсутствия насосов (используется давление входной охлаждающей цеховой воды);
- увеличивается свободная площадь около термопластавтоматов.

Однако многоконтурные термостаты имеют и ряд недостатков:

- привязка к конкретному термопластавтомату, термостаты этого типа не мобильны;
- более жесткие требования к качеству воды, поступающей в систему охлаждения;
- система более дорогая, чем одноконтурный термостат с гребенкой.

К основным характеристикам термостатов относят следующие параметры:

- максимальная температура в охлаждающих контурах;
- максимальная мощность нагрева теплоносителя;
- максимальная мощность охлаждения.

Если максимальная температура в охлаждающих каналах будет до 180°C, тогда обычно в термоконтроллерах в качестве теплоносителя (хладагента) используется вода. Если максимальная температура в охлаждающих контурах будет свыше 180°C, то в качестве хладагента используется масло.

Максимальная мощность нагрева теплоносителя имеет главное значение при запуске холодного оборудования. Чем за меньшее время требуется разогреть литевую форму, тем большая требуется мощность по нагреву. Но иногда, в некоторых процессах производства изделий из полимеров, мощность нагрева может быть важной характеристикой и внутри цикла.

Максимальная мощность охлаждения является одним из самых важных параметров. Чем больше мощность охлаждения, тем за меньшее время будет понижена температура в охлаждающих каналах литевой формы. При правильном выборе этого параметра, цикл при литье на термопластавтоматах может быть минимальным, следовательно основное оборудование — литевая машина — будет использоваться на максимуме своих возможностей [5].

Термостаты могут работать в режимах открытого и закрытого контуров.

При работе в режиме открытого контура охлаждения термоконтроллеры могут не иметь теплообменника и работать в режиме прямого охлаждения. Это означает, что охлаждающая вода из цеховой системы напрямую поступает в каналы охлаждения и достаточно эффективно отводит тепло от контуров литевой формы и выдавливается в цеховую систему с горячей водой.

Преимущество при работе в режиме открытого контура — высокая скорость отвода тепла, уменьшение расхода электроэнергии и сокращение времени цикла, а недостаток — требования к качеству цеховой воды должны быть высокими, иначе на поверхности охлаждающих каналов литевых форм будет образовываться накипь и эффективность теплоотвода будет падать. Поэтому приходится чаще проводить очистку каналов литевых форм.

При закрытом контуре охлаждения термостаты с теплообменником работают в режиме косвенного охлаждения. Охлаждающая вода из цеховой системы поступает в теплообменник термоконтроллера и там забирает тепло от воды (или масла — для термоконтроллеров на масле). Вода (масло) циркулирует в независимом контуре термостата, и охлаждающие каналы литевых форм замкнуты на этот контур.

Преимущество при работе в режиме закрытого контура состоит в том, что если в качестве теплоносителя используется вода, то она может быть специально подготовленной и минимально воздействовать на каналы литевых форм. Поэтому реже приходится проводить очистку каналов литевых форм.

Основной недостаток работы в режиме закрытого контура — более низкая скорость охлаждения, чем у термостатов с открытым контуром, больше расход электроэнергии и увеличение времени цикла.

1.2. Водоохладители (холодильники, чиллеры)

Система охлаждения воды — это устройство, предназначенное для охлаждения технологического оборудования с помощью хладонотенителя (воды, смеси воды с этиленгликолем и др.).

На производствах переработки пластмасс могут быть использованы две схемы водяного охлаждения.

Во-первых, прямоточная, при которой вода, поступающая на предприятие, дополнительно очищается и, пройдя через охлаждаемый участок и нагревшись, сливается в систему канализации.

Во-вторых, замкнутая, или оборотная, при которой предварительно охлажденная вода, пройдя через охлаждаемый участок и нагревшись, возвращается в холодильник, понижает свою температуру и вновь поступает на охлаждаемый участок.

Пожалуй, единственным преимуществом прямоточной схемы является минимизация капитальных затрат на ее организацию. А к ее недостаткам нужно отнести значительные эксплуатационные расходы и зависимость температуры воды, поступающей на охлаждение, от времени года и ряда других факторов, а также возможность загрязнения окружающей среды (табл. 1.2).

В замкнутых системах после их заполнения вода циркулирует по замкнутому контуру и незначительно расходуется только на испарение из охлаждающих ванн. Слив в канализацию отработавшей воды и заполнение системы свежей водой проводится лишь при плановом техническом. Температура воды, подаваемой на охлаждаемый участок, устанавливается в соответствии с требованиями технологии, поддерживается в автоматическом режиме и поэтому не зависит от температуры окружающей среды [6].

Таблица 1.2

Сравнительные показатели прямоточной и оборотной систем водоснабжения

Показатель	Система водоснабжения	
	прямоточная	оборотная
Тепловая нагрузка, ГДж/ч	2000	2000
Расход охлаждающей воды, м ³ /ч	50 000	50 000
Подача воды на промышленную площадку из водоисточника, м ³ /ч	50 000	1500
Сброс воды в водоисточник, м ³ /ч	49 500	620
Среднегодовая температура охлаждающей воды, °С	8—14	20—25
Среднегодовая температура нагретой воды, °С	18—24	30—35

Показатель	Система водоснабжения	
	прямоточная	оборотная
Безвозвратные потери воды, м ³ /ч, в том числе:	—	1500
на испарение на градирнях	—	855
капельный унос	—	25
Сброс тепла, ГДж/ч, в том числе:	Около 2000	Около 2000
в водоисточник	Около 2000	25
в атмосферу	—	1975
на почву	—	0,1
Относительные капиталовложения, %	100	140—175
Относительные эксплуатационные затраты, %	100	200—280

По типу холодильного цикла холодильники делят на парокompрессионные и абсорбционные.

Основные области применения водоохладителей при переработке пластмасс:

- собственно охлаждение полимеров, разогретых в ходе производства;
- охлаждение элементов оборудования — гидроприводов, коробок передач и т.п.;
- использование в различных технологических операциях, применяемых для изготовления пластмассовых изделий.

Использование современных водоохладителей с высоким уровнем эффективности приводит к повышению общей производительности предприятия, улучшению качества выпускаемой продукции, экономии энергоресурсов и другим важным и полезным результатам.

1.2.1. Парокompрессионные холодильники

Наиболее обширный класс холодильных установок — водоохладители парокompрессионного типа — имеют в своей основе замкнутую систему, где циркуляция хладагента осуществляется компрессором. Промышленные водоохладители охлаждают теплоноситель (вода, тосол) и подают его по замкнутому гидравлическому контуру на потребителя. Этот теплоноситель идет на охлаждение оснастки термопластавтоматов, экструдеров, грануляторов, термоформовочных машин, вальцов каландров и т.д. Кроме того, выпускаются специальные системы для охлаждения гидравлического масла, используемого в литьевом и выдувном оборудовании.

Принцип работы водоохладителя (рис. 1.3) базируется на непрерывных процессах смены агрегатного состояния вещества с жидкого на парообразное и наоборот в замкнутом контуре.

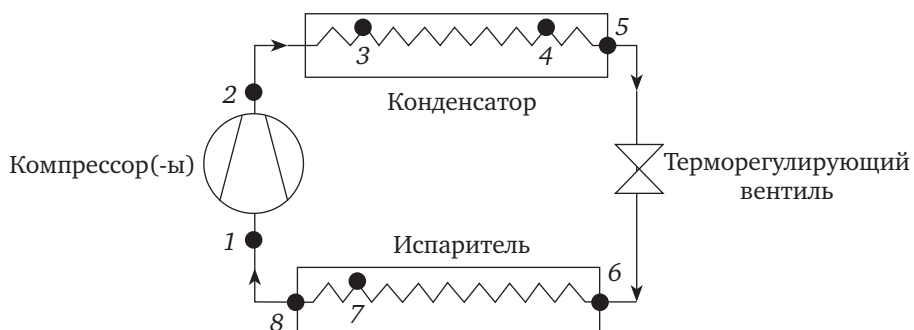


Рис. 1.3. Схема процесса переноса тепла в холодильном блоке:

- 1—2 — изоэнтальпийное сжатие паров хладагента в компрессоре;
- 2—3 — охлаждение перегретого пара; 3—4 — конденсация хладагента;
- 4—5 — переохлаждение хладагента; 5—6 — дросселирование (переход из жидкого состояния в парожидкостную смесь);
- 6—7 — испарение хладагента; 7—8 — перегрев хладагента

В системе циркулирует жидкий хладагент, имеющий низкую температуру кипения. В составе контура — два теплообменника. Один из них испаритель, внутри него создается низкое давление, при котором жидкость кипит и испаряется, отбирая тепло окружающей среды (воды, которую требуется охладить). Затем перегретый хладагент в парообразном состоянии передается из испарителя в компрессор, где давление среды повышается. Таким образом, создаются условия для конденсации хладагента или перехода его в жидкую фазу. В конденсаторе парообразный хладагент переходит в жидкое состояние, отдавая тепло окружающей среде (кипению хладагента сопутствует поглощение тепловой энергии, конденсации — ее выделение). Затем жидкость поступает в терморегулирующий вентиль, где давление снова снижается. В испаритель попадает смесь жидкости и пара. Цикл повторяется [7].

Основная классификация водоохладителей учитывает используемый вид охлаждения и способ установки. Водоохладители разделяют на три вида:

- с воздушным охлаждением;
- с водяным охлаждением;
- с комбинированным охлаждением.

Водоохладители охватывают большой диапазон мощностей холодопроизводительности: от нескольких киловатт до нескольких тысяч киловатт и различаются, кроме того:

- по [4] конструктивному исполнению (со встроенным или выносным конденсатором, моноблочные или двухблочные);
- наличию гидравлического контура;
- типу используемого компрессора;
- наличию встроенных систем энергосбережения;
- типу испарителя;
- схемам подключения.

Типовая конструкция промышленного водоохладителя (рис. 1.4) включает контур хладагента и водяной контур, которые подсоединены к трубопроводу, осуществляющему доставку воды к потребителям и обратно.

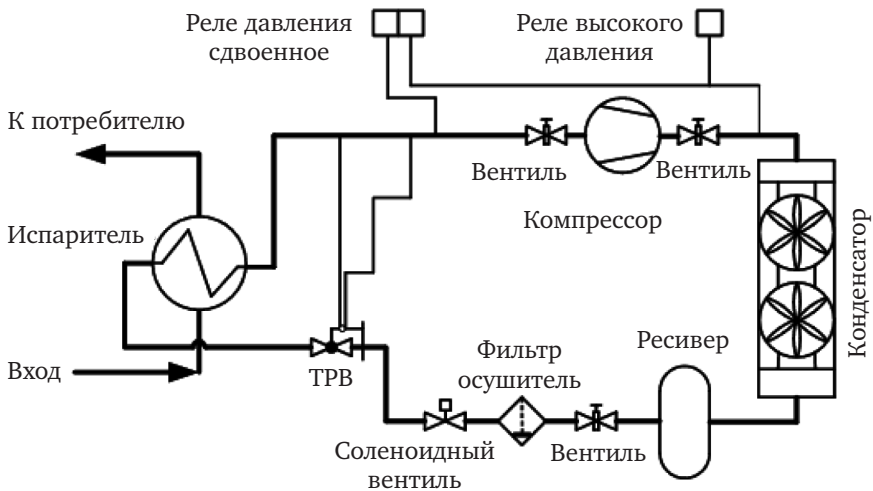


Рис. 1.4. Принципиальная схема водоохладителя

Контур хладагента, или холодильный блок, — это основная часть установки охлаждения жидкости. В холодильном блоке хладагент с помощью базовых агрегатов (компрессор, конденсатор, терморегулирующий вентиль и теплообменник-испаритель) осуществляет перенос тепла круговым процессом.

Контур хладагента состоит из следующих элементов:

- герметичный или полугерметичный компрессор (может быть несколько);
- конденсатор;
- ресивер;
- терморегулирующий вентиль;
- фильтр-осушитель;
- соединительные трубопровод и патрубки;
- органы контроля и управления.

Водяной контур включает в себя:

- насосы высокого или среднего давления для охлажденной воды;
- накопительный бак;
- запорную арматуру;
- соединительные трубопровод и патрубки.

Общим элементом для обоих контуров водоохладителя является испаритель, который осуществляет охлаждение жидкого теплоносителя при работающем компрессоре [8].

В промышленные водоохладители устанавливаются *испарители* преимущественно двух типов: пластинчатые из нержавеющей стали, а также кожухотрубные.

Пластинчатые испарители состоят из рядов стальных пластин, расположенных «елочкой». Внутри теплообменника хладагент и вода движутся навстречу друг другу по независимым контурам циркуляции. У них очень высокая эффективность теплообмена. Они компактны и небольшие по массе, более устойчивы к замораживанию в случае поломки, чем другие типы испарителей.

Типичный кожухотрубный теплообменник представляет собой стальной цилиндр. Внутри цилиндра установлены решетки с развальцованными медными, например, U-образными трубками, в которых испаряется хладагент. Трубки чаще всего делаются из меди и имеют диаметр 12 мм. Внутри они ребрены для увеличения внутренней поверхности теплообмена. Хладагент, поступая из нижней части испарителя, циркулирует по трубкам и, проходя по ним, забирает тепло у охлаждаемой жидкости.

Представляет интерес модификация кожухотрубного испарителя, конструкция которого выполнена из медных трубок, размещенных внутри цилиндрической полимерной камеры, установленной в стальной бак, покрытый оболочкой из вспененного полимерного материала для защиты от возникновения конденсата (рис. 1.5).

Пар, выходящий из испарителя, сжимается *компрессором* от давления **испарения** до давления конденсации.

В современных конструкциях водоохладителей используются преимущественно спиральные, поршневые либо винтовые компрессоры с приводом от электромотора постоянного тока, на котором установлено электронное устройство защиты от перегрева во время работы.

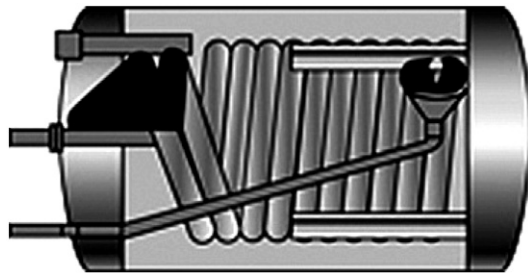


Рис. 1.5. Кожухотрубный испаритель

При использовании устройств с мощностью охлаждения до 100 кВт можно применять водоохладители, укомплектованные спиральными компрессорами. Холодильники с большей мощностью охлаждения должны иметь винтовые компрессоры с постоянным контролем нагрузки, что гарантирует высокую надежность агрегата при низких эксплуатационных затратах. Кроме того, надежность работы обеспечивается наличием ряда защитных функций, среди которых можно отме-

тить систему прогрева картера компрессора, сушку фильтра, датчики потока, высокого и низкого давления, термостат антизамерзания, контроль сухого хода компрессора, датчики уровня масла и клапаны защиты от возврата жидкого хладагента в компрессор. Компрессоры монтируют на резиновых виброопорах и устанавливают в шумоизолирующей камере, которая должна легко открываться для обслуживания [4].

Конденсаторы, устанавливаемые в водоохладителях, могут быть как с водяным, так и с воздушным охлаждением.

Конденсаторы с воздушным охлаждением представляют собой батарею, изготовленную из медных трубок с алюминиевым оребрением. Такая конструкция обеспечивает большую площадь поверхности теплообмена.

Водоохлаждаемые конденсаторы могут быть кожухотрубными или пластинчатыми.

Корпус кожухотрубного конденсатора изготавливается из углеродистой (нержавеющей) стали с медными трубками внутри.

Пластинчатые конденсаторы состоят из тонких гофрированных пластин из нержавеющей стали.

В холодильниках с воздушным охлаждением конденсатора *устанавливаются осевые вентиляторы с двигателем*, снабженным защитой от перегрузок и встроенной тепловой защитой. Вентиляторы закрывают защитной решеткой. В качестве привода в последнее время для уменьшения электропотребления и снижения уровня шума используются бесщеточные электромоторы с инвертером. Их преимуществом является высокая эффективность, низкая температура и компактные размеры двигателя, независимость числа оборотов от частоты и напряжения, простота подключения. Их недостаток: осевой вентилятор создает достаточно маленький напор воздуха, что позволяет устанавливать оборудование только на открытом месте, таком как крыша, стена здания и т.п.

В водоохладителях, предназначенных для установки внутри помещений, используются *центробежные нагнетающие вентиляторы* для отвода нагретого воздуха из помещения или вывода в другие помещения для обогрева в холодное время года.

Конструкция водоохладителя с водяным охлаждением конденсатора не предусматривает установки воздушного вентилятора.

Терморегулирующий вентиль — это регулятор, положение регулирующего органа которого обусловлено температурой в **испарителе** и задача которого заключается в регулировании количества хладагента, подаваемого в **испаритель**, в зависимости от перегрева паров хладагента на выходе из испарителя.

Ресивер в контуре служит резервным накопителем фреона для обеспечения стабильной работы установки охлаждения жидкости.

Как известно, тепловая нагрузка не является стабильной величиной и может изменяться в зависимости от сезона или времени суток. В тех случаях, когда холодопроизводительность водоохладителя начинает значительно превышать существующую потребность, холодильный агрегат переходит на работу в импульсном режиме — включаясь и выключаясь

через короткие промежутки времени. Все это со временем может привести к износу и выходу из строя компрессора. Для того чтобы этого избежать, в систему монтируется *накопительный бак*. Его объем зависит от возможного количества теплоносителя в водоохладителе и предполагаемых тепловых нагрузок. Аккумулирующий бак помогает увеличить теплоемкость, а также объем теплоносителя, что в итоге приводит к увеличению интервалов между включением-выключением компрессора.

Необходимое давление воды в трубопроводах обеспечивается *циркуляционным насосом*.

Водоохладители имеют электрическую панель управления. Их работа контролируется микропроцессором с соответствующим программным обеспечением. Они снабжаются визуальной и звуковой сигнализацией [4].

В стандартном исполнении **чиллеры** используются преимущественно для охлаждения воды или водных растворов гликоля при температурах ниже 0°C.

Типы **хладоносителей**, которые допускается использовать в установках охлаждения жидкости, определяются материалом, из которого изготовлен испаритель [9]. Для испарителей установок обычно применяют следующие материалы:

- в пластинчато-паяных теплообменниках пластины выполняются из нержавеющей стали и скрепляются друг с другом припоем на основе сплавов меди;
- в кожухотрубных испарителях корпус изготавливается из углеродистой стали, а трубки из меди.

При использовании для охлаждения рассолов (хлорида натрия, хлорида кальция) в установках применяют испарители из специальных материалов:

- для изготовления установок с пластинчатыми испарителями рекомендуется титан;
- для установок с кожухотрубными испарителями — сплав меди с никелем.

Для увеличения срока службы кожухотрубных испарителей возможно изготовление трубок из нержавеющей стали.

В табл. 1.3 и на графиках (рис. 1.6) приведены зависимости температуры замерзания от концентрации для наиболее часто применяемых хладоносителей.

Таблица 1.3

Зависимость температуры замерзания от концентрации хладоносителя

Пропиленгликоль		Этиленгликоль		Хлорид натрия		Хлорид кальция	
Концентрация, %	Температура замерзания, °С	Концентрация, %	Температура замерзания, °С	Концентрация, %	Температура замерзания, °С	Концентрация, %	Температура замерзания, °С
10	-3	10	-3,5	10	-6,7	10	-9,3
15	-5	14	-5,3	15	-11	15	-10,9

Пропиленгликоль		Этиленгликоль		Хлорид натрия		Хлорид кальция	
Концентрация, %	Температура замерзания, °С	Концентрация, %	Температура замерзания, °С	Концентрация, %	Температура замерзания, °С	Концентрация, %	Температура замерзания, °С
20	-7	20	-8	20	-16,7	20	-16,1
25	-10	24	-11			25	-29,3
31	-15	30	-15				
35	-16,4	34	-18				
39	-20	40	-24				
48	-30	44	-28				
54	-40	50	-36				

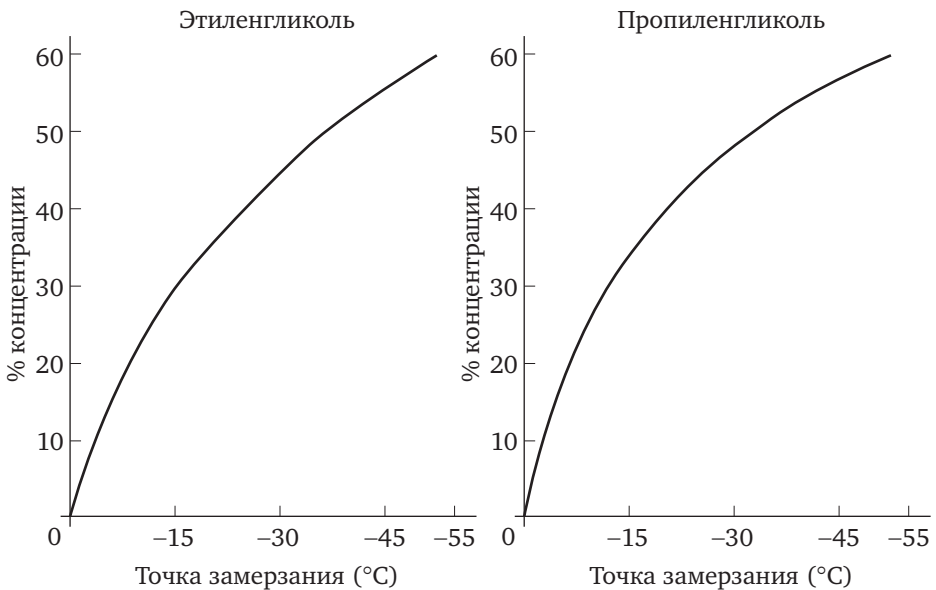


Рис. 1.6. Зависимость температуры замерзания смесей вода — этиленгликоль и вода — пропиленгликоль от содержания гликолей

Основные рекомендации по использованию жидких теплоносителей для водоохладителей следующие.

1. Не допускается присутствие ионов аммония NH_4^+ в воде, поскольку они оказывают вредное воздействие на медь. Это один из самых важных факторов, влияющих на срок службы медных труб. Наличие нескольких десятых мг/л со временем вызывает сильную коррозию меди.

2. Ионы хлора Cl^- оказывают вредное воздействие на медь, вызывая точечную коррозию. По возможности их надо удерживать на уровне ниже 10 мг/л.

3. При наличии более 30 мг/л ионов сульфатов SO_4 может возникать точечная коррозия.

4. Не допускается наличие ионов фторидов (менее 0,1 мг/л).

5. Следует избегать наличия ионов Fe_2 и Fe_3 при заметных уровнях растворенного кислорода. Допускается менее 5 мг/л растворенного железа при растворенном кислороде менее 5 мг/л.

6. Растворенный кремний: кремний ведет себя в воде как кислотный элемент и также может вызывать коррозию. Допустимое содержание менее 1 мг/л.

7. Жесткость воды: $\text{ТН} > 2,8 \text{ К}$. Могут быть рекомендованы значения от 10 до 25. Это способствует осаждению окалина, что может ограничить коррозию меди. Слишком большие величины ТН могут со временем приводить к закупорке трубопроводов. Желателен суммарный алкалометрический титр (ТАС) ниже 100.

8. Необходимо избегать любого резкого изменения насыщения воды кислородом. Обескислороживание воды путем смешивания ее с инертным газом так же вредно, как перенасыщение ее кислородом путем смешивания воды с чистым кислородом. Нарушение насыщения воды кислородом способствует дестабилизации гидроокисей меди и увеличению частиц.

9. Чем выше удельное сопротивление, тем медленнее образуется коррозия. Желательны значения более 3000 Ом/см. Нейтральная среда благоприятна для получения максимальных значений удельного сопротивления. Можно рекомендовать значения электрической проводимости в диапазоне 200—6000 Ом/см.

10. Идеальный вариант, когда нейтральный pH при 20—25°C ($7 < \text{pH} < 8$) [9].

11. Производительность системы при использовании водно-гликолевой смеси значительно ниже, чем при использовании только воды. Следовательно, необходима большая поверхность теплообмена и, соответственно, большие размеры водоохладителя.

12. Использование водно-гликолевой смеси для теплообменников с вентиляторным обдувом нежелательно, поскольку при этом необходим дополнительный теплообменник между блоком холодной воды, разработанным для системы, использующей водно-гликолевую смесь, и контуром холодной воды.

Качественная и бесперебойная работа холодильника, стабильность подачи воды на охлаждение, способность поддержания температуры воды на заданном уровне зависят от нескольких ключевых факторов. Одним из них является мощность охлаждения, которую водоохладитель способен обеспечить, причем большое влияние на это оказывает температура окружающей среды: при ее повышении на 5°C мощность охлаждения снижается на 5%, в то время как уменьшение температуры воды на 1°C снижает холодопроизводительность на 3%.

Для оценки эффективности работы охлаждающего устройства необходимо учитывать соотношение мощности охлаждения и общей

установленной мощности. Для холодильников, имеющих воздушное охлаждение, этот показатель равняется 2—3, для специализированных промышленных холодильников — более 6 (в зависимости от климатических условий и требуемой температуры охлаждаемой воды) [2].

Эффективность работы холодильника с воздушным охлаждением напрямую зависит от размеров установленного в нем конденсатора. То же самое можно сказать и о работе испарителя.

Современные модели холодильников отличаются низким потреблением электроэнергии и высокой экологичностью.

Модульное исполнение отдельных моделей позволяет присоединять новые холодильники по мере необходимости.

Современные холодильные устройства, как правило, оборудованы электронными устройствами измерения и регулирования температуры, управления работой всех систем холодильника с выводом информации об этой работе и о нарушениях в функционировании агрегата на дисплей блока управления.

В местностях, характеризующихся низким качеством оборотной воды (высокая жесткость, механические или биологические включения), использование такой воды служит причиной загрязнений каналов охлаждения оборудования и оснастки. Это может привести к значительному снижению эффективности охлаждения, а иногда и к преждевременному выходу из строя водопроводящих устройств. Наличие в холодильнике бака для воды позволяет обеспечить замкнутый цикл охлаждения и отказаться от использования проточной воды.

Ниже приведены описания некоторых типовых схем включения водоохладителей на предприятиях по переработке пластмасс.

Водоохладители с воздушным охлаждением конденсатора (моноблок) рекомендуется размещать внутри помещений. Подача и отвод воздуха для охлаждения конденсатора осуществляется посредством воздуховодов. Основные достоинства моноблочных холодильников — отсутствие наружных блоков и возможность всесезонной эксплуатации. Кроме этого, исполнение на единой раме повышает надежность конструкции (рис. 1.7).

Водоохладители с выносными конденсаторами воздушного охлаждения (двухблочные) представляют собой двухконтурную систему, в которой конденсатор выполнен в виде обособленного блока, установленного на открытом воздухе, вне помещений. Конденсатор охлаждается осевыми вентиляторами. Преимущества установок — можно задействовать неэксплуатируемые площадки, нет проблем с шумом. Минусы — требуется обслуживание испарителя, необходим сезонный слив воды. Иногда применяют двухконтурные схемы, где в качестве промежуточного теплоносителя используют незамерзающие жидкости.

Водоохладители с водяным охлаждением конденсатора устанавливают внутри помещений. Для охлаждения конденсатора используют устройство замкнутого контура с охлаждением промежуточного теплоносителя в градирне. Основные преимущества — всесезонная экс-

платация, экономичность за счет рекуперации тепла конденсации (рис. 1.8) [7].

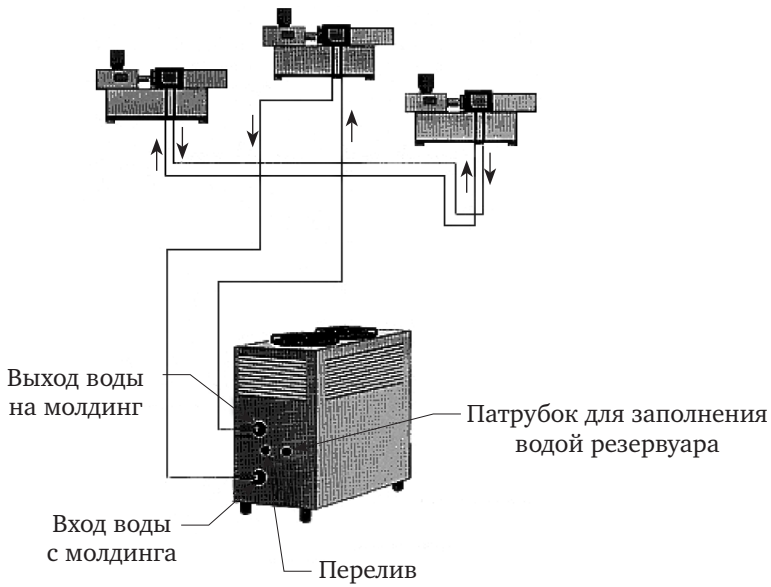


Рис. 1.7. Схема подключения водоохладителя с воздушным охлаждением

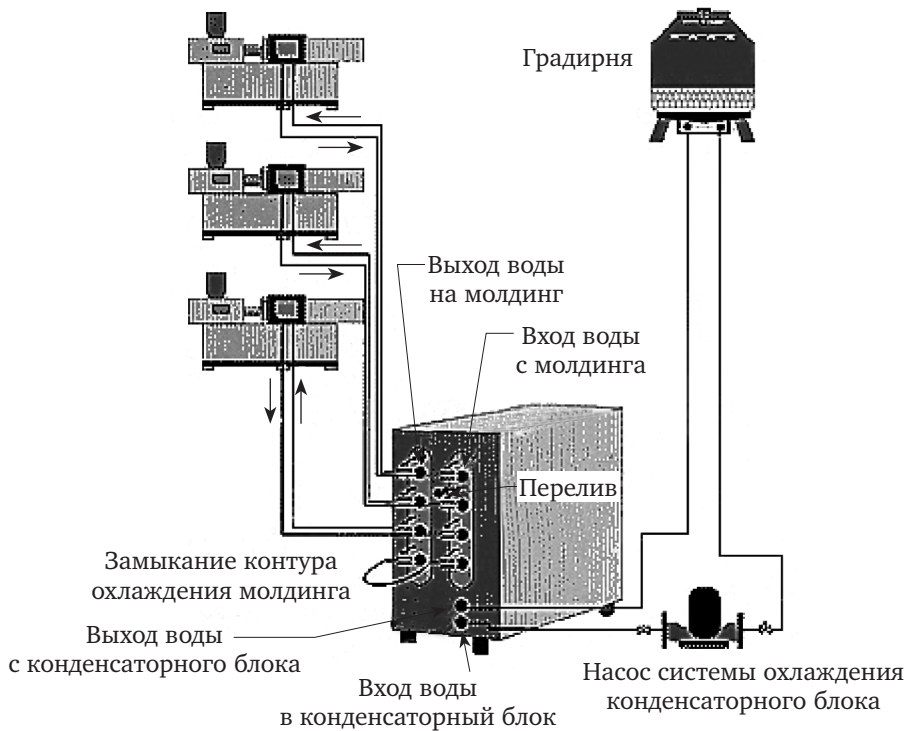


Рис. 1.8. Схема подключения водоохладителя с водяным охлаждением

Чиллеры с водяным охлаждением применяют при наличии воды для охлаждения конденсатора (проточная вода, либо вода от градирни).

Для отвода тепла от технологического оборудования могут использоваться как одноконтурные (рис. 1.9, а), так и двухконтурные (рис. 1.9, б) холодильные установки с водяным охлаждением конденсатора.

Одноконтурные установки проще, надежнее, но могут подавать в зоны охлаждения охлаждающую воду только одной температуры. В двухконтурных системах охлажденная вода может подаваться с различной температурой на разные охлаждаемые участки. Так, на рис. 1.9, б на охлаждение экструдера и на охлаждение системы калибровочного стола может подаваться вода с различной температурой [6].

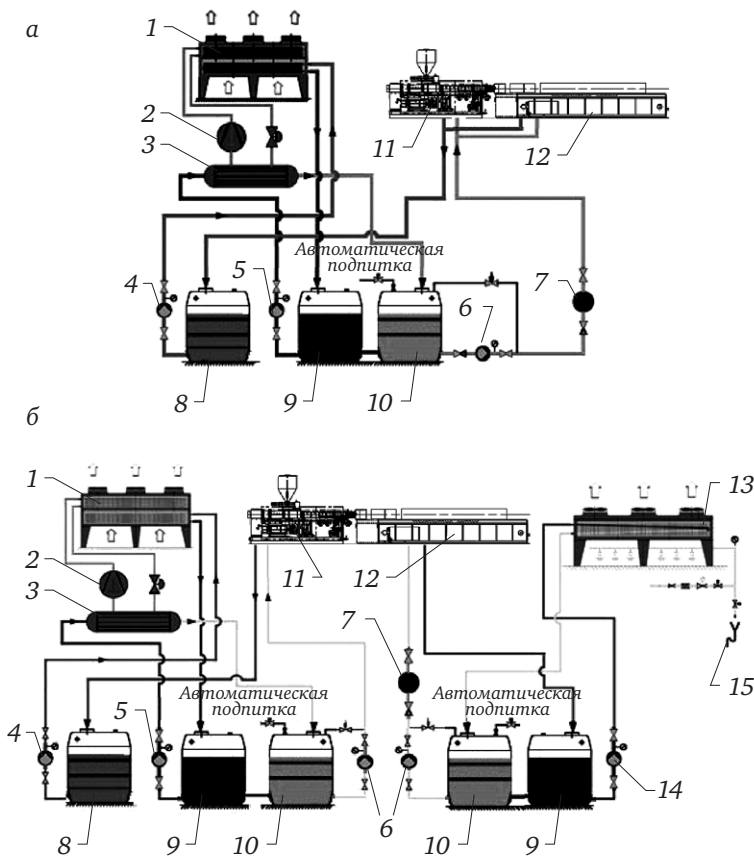


Рис. 1.9. Схемы одноконтурной (а) и двухконтурной (б) холодильных установок:

- 1 — конденсатор воздушного охлаждения; 2 — компрессор; 3 — испаритель;
- 4 — насос конденсатора воздушного охлаждения; 5 — насос испарителя;
- 6 — рабочий насос; 7 — фильтр; 8 — бак теплой воды; 9 — промежуточный бак;
- 10 — бак охлажденной воды; 11 — экструдер; 12 — калибровочный стол;
- 13 — гибридный кондиционер воздушно-водяного охлаждения;
- 14 — насос гибридного кондиционера; 15 — сливная воронка

1.2.2. Энергосберегающие системы с естественным охлаждением

Технологии естественного охлаждения используются для снижения расходов на выработку холодной воды в центральном блоке охлаждения. Данное оборудование применяется в составе систем охлаждения, в которых необходима холодная вода. При этом охлаждение воды достигается без применения или с частичным применением компрессора водоохладителя, за счет использования более низкой температуры окружающего воздуха.

Технологии естественного охлаждения дополнительно подразделяются на две основные категории [10]. Во-первых, это технологии испарительного охлаждения с использованием либо прямого естественного охлаждения, либо косвенного естественного охлаждения. Во-вторых, это технологии охлаждения с использованием либо кожухотрубных теплообменников, либо сухих и влажных/сухих градирен.

Испарительное охлаждение

В системах прямого естественного охлаждения, оснащенных градирнями, конденсатор охлаждается с помощью воды. Чаще всего для этих целей используется конденсатор кожухотрубного типа. Охлаждаемый пар, проходящий снаружи труб, охлаждается и конденсируется с помощью воды, циркулирующей внутри труб. На данном этапе охлаждение воды осуществляется с помощью градирен (рис. 1.10). Это происходит, когда чиллер работает в условиях высоких температур окружающего воздуха.

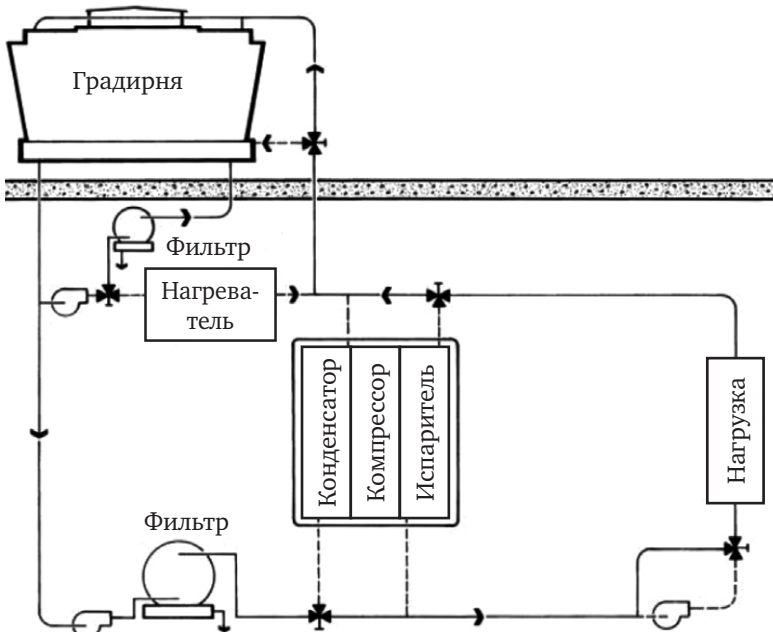


Рис. 1.10. Принципиальная схема системы прямого охлаждения открытого цикла с использованием градирен

Однако при понижении температуры окружающего воздуха ниже температуры воды, используемой в системах охлаждения, нет необходимости в эксплуатации оборудования охлаждающей группы. В этом случае в системах прямого охлаждения вода направляется из градирни в обход водоохладителя напрямую в систему охлаждения. Основным преимуществом данной системы при работе градирен в открытом цикле является то, что требуемая температура охлаждающей воды близка к температуре окружающего воздуха. При этом максимальная выгода может быть получена от использования технологии естественного охлаждения. Однако серьезным недостатком будет загрязнение контура холодной воды, вызванное сравнительно грязной водой конденсатора. Данная проблема может быть устранена путем использования градирен, работающих в закрытом цикле, в составе системы прямого охлаждения или драйкулеров (сухих градирен).

В системах непрямого охлаждения контуры конденсаторной воды и холодной воды разделены. При этом отсутствует риск загрязнения системы. Однако увеличение поверхности теплообмена в данных системах приводит к повышению температуры воды по сравнению с системами открытого цикла с использованием градирен. Это снижает эффективность систем естественного охлаждения.

Ниже приведены три основных варианта применения систем непрямого охлаждения.

1. Применение *градирен замкнутого цикла* характерно для систем естественного охлаждения. Как было указано выше, это устраняет риск загрязнения в отличие от систем открытого цикла. В летнее время, когда эксплуатируется оборудование главной охлаждающей группы, конденсаторная вода, подаваемая из градирен, циркулирует в замкнутом цикле. В данной системе возвратная охлаждающая вода предварительно охлаждается перед подачей в испаритель. При этом снижается нагрузка на водоохладитель и повышается эффективность всей системы в зимний период, когда работают только системы естественного охлаждения, вода, подаваемая из градирен, циркулирует в контуре холодной воды в замкнутом цикле.

Хотя использование градирен представляет интерес, они могут вызывать проблемы с эксплуатацией оборудования. Это связано с тем, что вода из градирен напрямую подается в систему охлаждения, а это в свою очередь может вызывать загрязнение и известковый налет на поверхностях теплообменников. Кроме того, та часть воды, которая испаряется в градирнях, должна постоянно восполняться. При этом при ее испарении образуется большое количество отложений на стенках емкости.

2. Применяются системы с использованием вспомогательных теплообменников (рис. 1.11) [11]. Чаще всего для этого используются теплообменники пластинчатого типа. В зимнее время необходимая тепловая нагрузка в контуре холодной воды обеспечивается водой из градирен, подаваемой через вспомогательные теплообменники без применения водоохладителей.

3. Системы с использованием газообразного хладагента используются крайне редко. В случаях, когда может быть достигнута температура конденсаторной воды ниже требуемой температуры холодной воды, водоохладитель работает как термосифон.

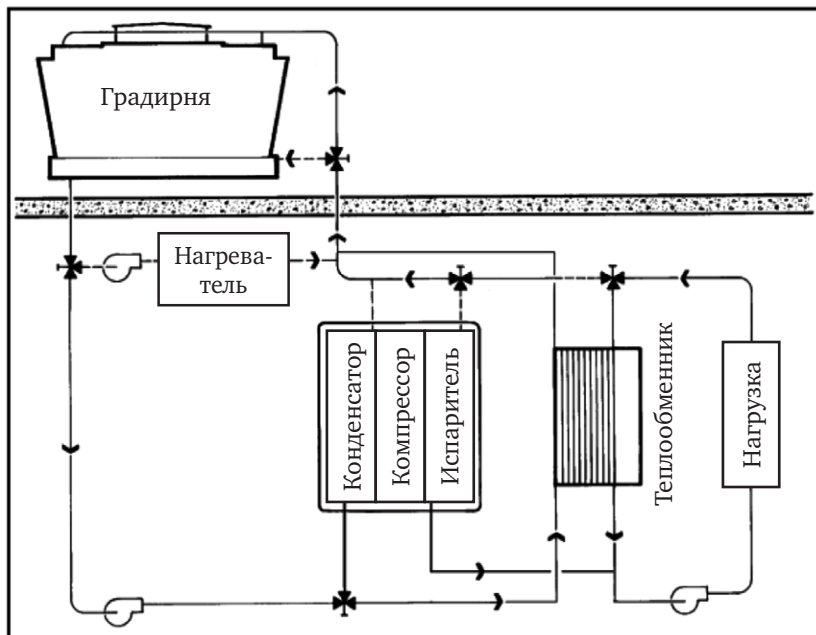


Рис. 1.11. Принципиальная схема системы охлаждения с использованием вспомогательных теплообменников

Низкотемпературная конденсаторная вода конденсирует газообразный хладагент в конденсаторе. Затем он направляется в испаритель силой гравитации или с помощью вспомогательного насоса. Охлаждающая вода с высокой температурой вызывает испарение хладагента в испарителе. Перепад давления между испарителем и конденсатором обеспечивает возврат газа в конденсатор. Потoki между испарителем и конденсатором обеспечиваются через байпасные каналы. В данной системе нет необходимости в эксплуатации компрессора. Блоки с использованием охлаждающего газа могут применяться в составе не всех систем охлаждения. А в тех системах, в которых они применяются, мощность блоков естественного охлаждения ограничивается показателем 10—30% от расчетной мощности водоохладителя.

Системы охлаждения с использованием теплообменников

Кроме традиционных элементов в составе данных систем охлаждения для производства холодной воды используются теплообменники с трубными полками с оребрением. Данные системы применяются, когда температура окружающего воздуха падает на 1,5—2,0°C ниже требуемой температуры охлаждающей воды.

Конструкция данных систем определяется тремя различными подходами: полностью механическое охлаждение (без естественного охлаждения), частичное естественное охлаждение (распределение нагрузок — предварительное охлаждение) и полностью естественное охлаждение (охлаждающая группа не работает).

Благодаря использованию замкнутого цикла, в данной системе отсутствует проблема снижения количества охлаждающей воды, и, кроме того, риск загрязнения контура полностью отсутствует.

Теплообменники с трубными оребренными полками могут быть использованы в двух различных вариантах:

- системы с использованием теплообменников естественного охлаждения;
- системы с использованием сухих и влажных/сухих охладителей.

Рассмотрим системы с использованием теплообменников естественного охлаждения.

Так, например, традиционная схема «термопласт автомат — водоохладитель» имеет следующие минусы в процессе эксплуатации:

- постоянное потребление электроэнергии в зимний и летний периоды;
- большая теплоотдача при работы компрессоров;
- относительно небольшой срок службы водоохладителя;
- постоянная или растущая в летний период расходная статья в стоимости изделия.

Для эффективного охлаждения промышленного оборудования, а в частности литьевых форм, в последнее время становятся все более популярными чиллеры со встроенным теплообменником естественного охлаждения, использующие *технология фрикулинга (free-cooling)*.

Охлаждение воды может производиться не только с помощью компрессоров, но и за счет естественного охлаждения. Водоохладители этого типа предназначены для наружной установки. Они представляют собой моноблочные холодильные машины, оснащенные дополнительным контуром охлаждения — секцией фрикулинга с функцией естественного охлаждения.

Секция фрикулинга позволяет одновременно использовать в одном агрегате как фреоновое охлаждение, так и охлаждение окружающим воздухом. Холодильник с фрикулингом использует преимущества низких наружных температур для охлаждения воды и исключения работы компрессоров. Охлаждающая жидкость, перед тем как попасть в испаритель, переводится для частичного (или полного охлаждения) в дополнительный теплообменник секции фрикулинга. Это позволяет экономить, даже если наружная температура недостаточно низкая для обеспечения полной работы по охлаждению, так как в этом случае компрессоры выполняют лишь оставшуюся часть работы. Таким образом, водоохладитель с фрикулингом может работать в механическом режиме охлаждения и/или режиме фрикулинга, в зависимости от тепловой нагрузки и наружной температуры.