Министерство путей сообщения Российской Федерации
Дальневосточный государственный университет путей сообщения

Кафедра “Тепловозы и тепловые двигатели”
В.М. Баранов

КОМПРЕССОРЫ И ХОЛОДИЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ

Методические указания по выполнению контрольной работы № 1
для студентов 5-го курса ИИФО специализации
“Локомотивные энергетические установки”

Хабаровск
2002

Рецензент: Кандидат технических наук, доцент кафедры “Вагоны” Дальневосточного государственного университета путей сообщения *Е.Н. Давыдова*

Компрессоры и холодильные установки: Методические указания к выполнению контрольной работы № 1 / В.М. Баранов. – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2002. – 36 с.: ил.

Методические указания соответствуют государственному образовательному стандарту дисциплины “Компрессоры и холодильные установки” специализации 1507.04.02 “Локомотивные энергетические установки” ИИФО.

Рассмотрены общие понятия о компрессорах локомотивов и холодильных установках. Главное внимание уделено подготовке к выполнению контрольной работы и методике решения её задач.

Предназначены для студентов пятого курса института интегрированных форм обучения, изучающих дисциплину “Компрессоры и холодильные установки”.

Издательство Дальневосточный государственный университета путей сообщения (ДВГУПС), 2002

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ
1. КОМПРЕССОРЫ
1.1. Компрессоры локомотивов
1.2. Компрессоры холодильных установок
2. ХОЛОДИЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ
2.1. Холодильные агенты
2.2. Парокомпрессионные установки
2.3. Аммиачная парокомпрессионная холодильная установка
2.4. Рабочий процесс парокомпрессионной холодильной установки в координатах T-s
3. ЗАДАНИЕ НА КОНТРОЛЬНУЮ РАБОТУ

3.1. Контрольные вопросы
3.2. Исходные данные и методика решения задачи № 1
3.3. Исходные данные и методика решения задачи № 2
4. РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
ПРИЛОЖЕНИЕ 1
ПРИЛОЖЕНИЕ 2
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

ВВЕДЕНИЕ

Теоретические основы компрессоров и холодильных установок, а также вопросы парообразования и конденсации излагались в курсе “Теплотехника” [9]. Поэтому методические указания рассматривают компрессоры и холодильные установки без объяснения рабочих процессов в их элементах, достоинств и недостатков.
Указания содержат четыре раздела.
В первом разделе рассмотрены компрессоры локомотивов и особенности компрессоров холодильных установок.
Во втором разделе дана классификация холодильников, холодильных агентов, способов охлаждения холодильных камер. Рассмотрена схема промышленной парокомпрессионной холодильной установки с её вспомогательными элементами. Пояснены диаграммы T-s и l g p-h.
В третьем разделе представлено задание на контрольную работу и методика её выполнения.
Четвертый раздел содержит рабочую программу дисциплины “Компрессоры и холодильные установки”, необходимую для подготовки к зачету.
В основу контрольной работы и рабочей программы положены методические указания ВЗИИТА к контрольной работе по дисциплине “Тепловые насосы и холодильные установки”, разработанные доктором технических наук, профессором Е.Т Бартош [10].
В приложениях даны рабочие диаграммы l g p-h для фреона – 12 и фреона – 22. Они необходимы для решения задач контрольной работы.

1. КОМПРЕССОРЫ

Компрессором называют машину для сжатия газов или паров. По конструкции компрессоры могут быть поршневыми, центробежными, осевыми, винтовыми и ротационными.

Ремонтные предприятия железнодорожного транспорта оснащаются двухступенчатыми поршневыми компрессорами с водяным охлаждением и приводом от электродвигателя. Они работают в автоматическом режиме. Когда в резервуаре создается рабочее давление воздуха, электродвигатель компрессора выключается, а при падении давления до некоторого уровня - включается. Сжатый воздух применяется для привода пневматических инструментов, приспособлений и в технологических процессах ремонта. Другую группу составляют локомотивные компрессоры, готовящие сжатый воздух для тормозных систем локомотива и поезда. Компрессоры являются основным агрегатом наиболее распространенных парокомпрессионных холодильных установок.

1.1. Компрессоры локомотивов

На локомотивах устанавливают двухступенчатые поршневые компрессоры с воздушным охлаждением. Компрессоры тепловозов имеют привод от вала дизеля, компрессоры электровозов – от электродвигателя.

Рабочее абсолютное давление воздуха в главных резервуарах тепловоза равно 0,95 МПа (9,5 кгс/см^2), резервуарах электровоза – 1 МПа (10 кгс/см).

На тепловозах устанавливают компрессоры КТ6, КТ7 или ПК – 3,5 [11]. Компрессоры КТ6 и КТ7 имеют производительность 5,3 м^3 в минуту, ПК-3,5 м^3 в

минуту. Это значит, что в одну минуту они всасывают из атмосферы 5,3 и 3,5 $м^3$ воздуха.

На рис. 1.1 приведена схема компрессора КТ6. Он имеет три цилиндра: два цилиндра первой ступени сжатия 1 и один цилиндр второй ступени сжатия 2. Атмосферный воздух всасывается в цилиндры первой ступени сжатия через фильтры 3 и после сжатия выталкивается в промежуточный охладитель 4 через патрубки 1 (рис. 1.2). Из полостей 2 горячий воздух по трубкам 3 опускается в нижние коллекторы 4. Затем по трубкам 5 поднимается в полость 6 и через патрубок 7 всасывается в цилиндр второй ступени. Предохранительный клапан 8 отрегулирован на давление открытия 0,45 МПа (4,5 $кгс/см^2$).

Воздухоохладитель и цилиндры компрессора обдуваются вентилятором 5 (рис. 1.1), имеющим клиноременный привод от вала компрессора. В клапанных коробках 6 (крышках цилиндров) каждого цилиндра установлен один всасывающий и один нагнетательный клапаны кольцевой конструкции.

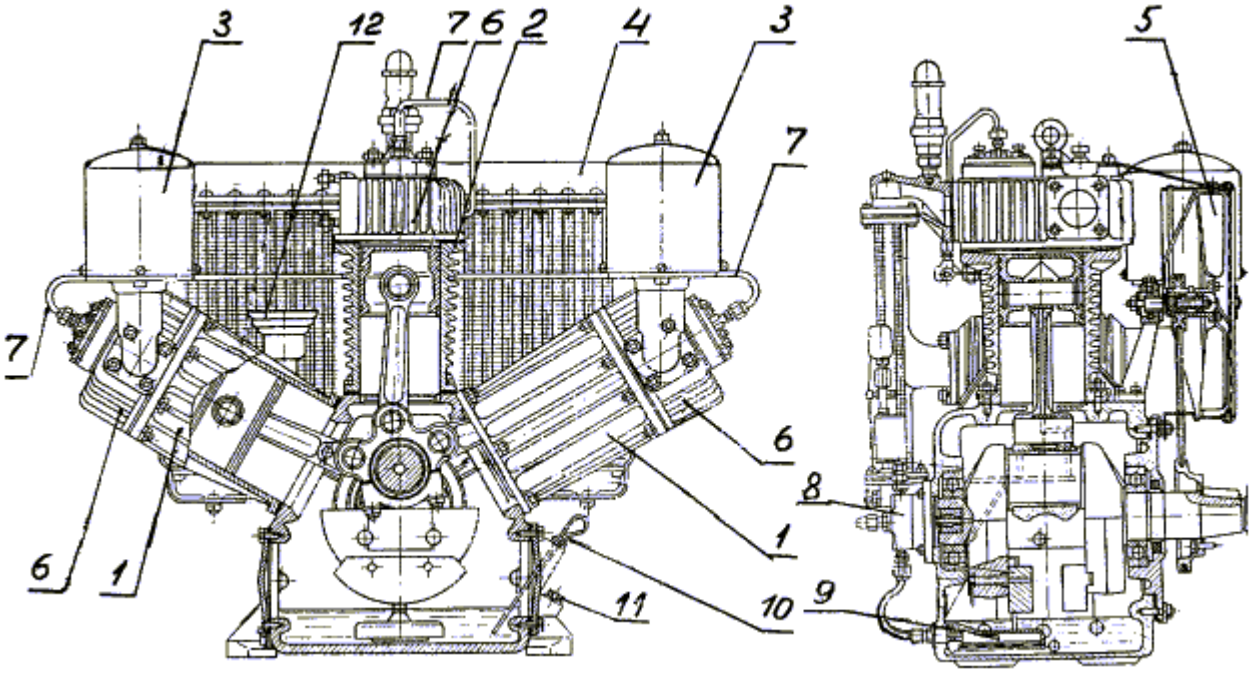

Рис. 1.1. Компрессор КТ6

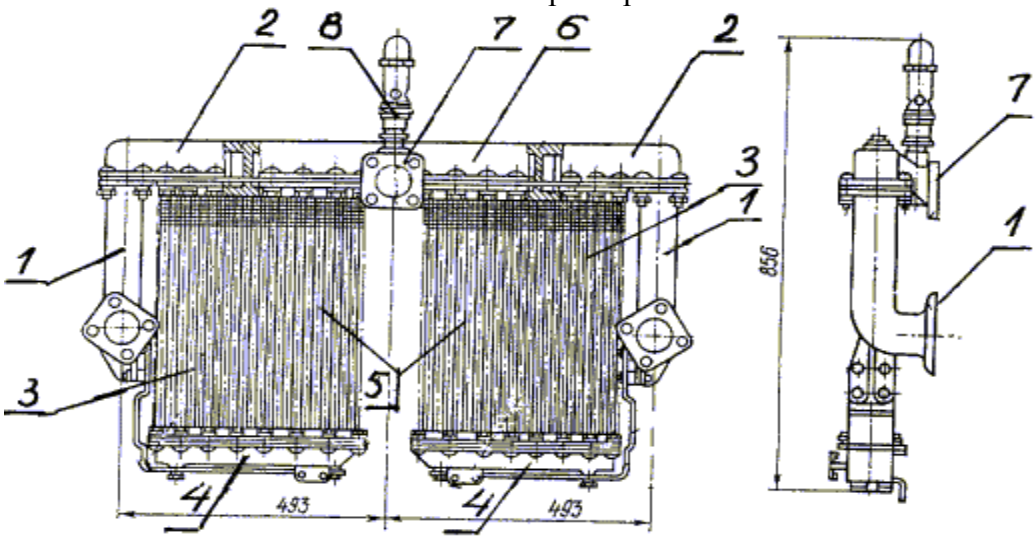

Рис. 1.2. Охладитель компрессоров КТ6, КТ7 и КТ7Эл

В трубопровод сжатого воздуха включен золотниковый регулятор давления ЗРД. При достижении в главных резервуарах тепловоза давления 0,95 МПа регулятор ЗРД подает сжатый воздух по трубкам 7 (рис. 1.1) в поршеньковые разгрузочные устройства каждой головки цилиндров. Эти устройства открывают и удерживают открытыми всасывающие клапаны, поэтому воздух, всасываемый цилиндрами первой ступени, выталкивается обратно в атмосферу, а цилиндром второй ступени – в охладитель. Подача воздуха в резервуары прекращается. Когда давление упадет до 0,85 МПа ЗРД перекрывает подачу воздуха в трубки 7 и клапаны начинают работать в обычном режиме, давление в резервуарах восстанавливается.
Компрессор имеет масляный насос 8, заборный масляный фильтр 9, маслоуказатель 10 и маслозаливную пробку 11. Сапун 12 сообщает объем картера компрессора с атмосферой для поддержания в картере атмосферного давления.
Компрессор КТ7 устроен также как и компрессор КТ6, но его вал вращается дизелем в другую сторону. Поэтому изменено положение лопастей вентилятора и проведены некоторые перестановки деталей в масляном насосе.
На рис. 1.3 приведен компрессор ПК (Полтавского завода). Через фильтр 1 и всасывающий клапан 2 он всасывает воздух в цилиндр первой ступени сжатия 3.

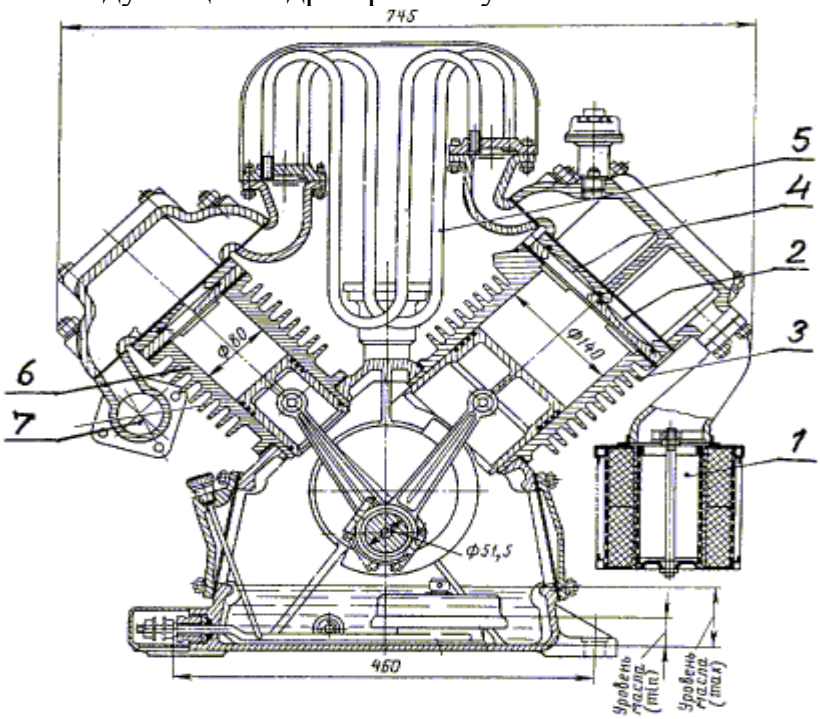

Рис. 1.3 Компрессор ПК – 3.5

Затем воздух сжимается и через нагнетательный клапан 4 вытесняет в трубки 5 (8 шт) промежуточного охладителя. Вентилятор охлаждения на рисунке не показан. Охлажденный воздух всасывается в цилиндр второй ступени сжатия 6 откуда через патрубок 7 нагнетается в резервуары. При наличии одной пары цилиндров 3 и 6 производительность компрессора равна 1,75 м^3 в минуту (ПК-1,75). Поэтому компрессор ПК-3,5 имеет два цилиндра 3, два комплекта трубок 5 и два цилиндра 6.

Для регулирования давления в резервуарах тепловоза компрессор ПК-3,5 имеет на нагнетательном трубопроводе клапан холостого хода. При достижении в резервуарах рабочего давления клапан открывается и направляет воздух в атмосферу. Сжатие воздуха в компрессоре не происходит и в режиме холостого хода он не нагружает дизель.

Компрессоры КТ6 и КТ7 ставятся на тепловозы, дизели которых имеют частоту вращения коленчатого вала 750 или 850, а ПК-3,5 – 1450 оборотов в минуту.
На электровозах устанавливают компрессоры КТ7Эл, Э-500 и ВУ- 3,5/10 с приводом от электродвигателя.
Компрессор КТ7Эл устроен как КТ7, но в его картере установлен подогреватель масла на напряжение 50В и отсутствуют разгрузочные устройства и трубки 7 к ним (рис. 1.1), так как давление регулируется остановкой электродвигателя.
Останавливает электродвигатель при давлении 1 МПа и включает его при давлении 0,85 МПа электропневматический регулятор АК-11Б.

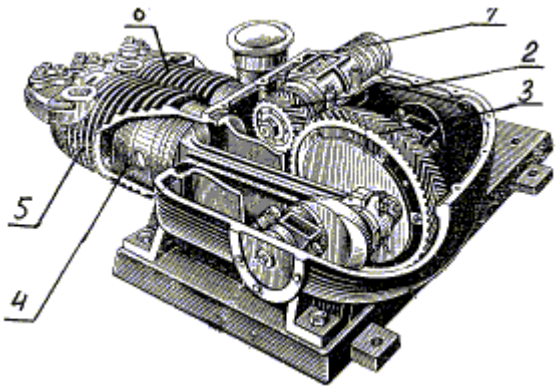

Рис.1.4.Компрессор Э-500

Компрессор Э-500 (рис. 1.4) имеет входной вал 1, который сочленяется с электродвигателем клиноременной или упругой муфтами. Шестерня 2 передает вращение через шестерню 3 коленчатому валу. Поршень 4 всасывает воздух в цилиндр первой ступени сжатия 5, из которого выталкивает его в охладитель, представляющий трубу, уложенную на крыше электровоза. Сжатый охлажденный воздух в цилиндре второй ступени сжатия 6, из которого вытесняется в резервуары. Главные резервуары электровоза устанавливают на крыше, тепловоза – под кузовом. Э-500 имеет производительность 1,75 $м^3$ в минуту, поэтому их устанавливают по два.

Компрессор ВУ-3,5/10 (рис. 1.5) также двухступенчатый.
Через фильтр 1 воздух всасывается в цилиндр первой ступени сжатия 2 откуда через патрубок 3 вытесняется в охладитель 4. В охладителе воздух проходит последовательно трубки 5 двумя потоками А и Б. Вентилятор охладителя закрыт кожухом 6, а приводные клиновые ремни кожухом 7. Через патрубок 8 охлажденный воздух всасывается в цилиндр второй ступени сжатия 9, откуда по патрубку 10 через обратный клапан 13 и трубу 11 нагнетается в главные резервуары.

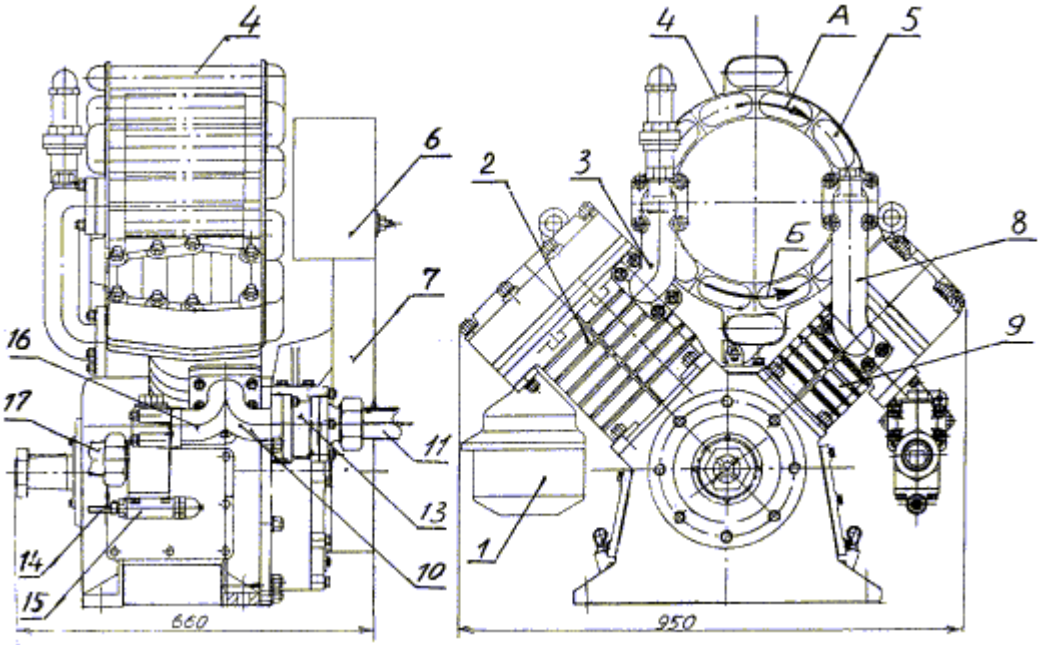

Рис. 1.5. Компрессор ВУ – 3,5/10

От резервуаров по трубке 14 сжатый воздух подводится к пневматическому клапану 15. Когда давление в резервуарах достигнет 1 МПа, пневмоклапан 15 сообщает патрубок 16 с атмосферной трубой 17 и компрессор переключается на холостой режим работы.

1.2. Компрессоры холодильных установок

В холодильных установках применяют компрессоры поршневые, центробежные, винтовые и ротационные.

Поршневые компрессоры холодильных установок устроены также как компрессоры воздушные, но имеют специфические особенности. Укажем три из них.

В отличие от воздушных компрессоров, компрессоры холодильных установок работают с парами холодильных агентов. Обычно это пары фреонов или аммиака. Пары легко конденсируются, поэтому в цилиндр компрессора может попасть значительное количество жидкой фазы агента. При этом неизбежны удар поршня в крышку цилиндра через жидкость и авария компрессора. Чтобы этой аварии избежать, крышка цилиндра (рис. 1.6, *а*), точнее плита 1 нагнетательных клапанов 2, делается подвижной. Она прижата по месту цилиндрической пружиной 3. Это первая особенность холодильных поршневых компрессоров.

Компрессор (рис. 1.6, *а*) называют непрямоточным, так как пары в его цилиндрах двигаются возвратно-поступательно: вниз при всасывании через всасывающие клапаны 4 и вверх при сжатии и вытеснении через нагнетательные клапаны 2. Прямоточный компрессор показан на схеме рис. 1.6, *б*. Здесь полый поршень имеет две уплотненные поверхности верхнюю 1 и нижнюю 2. Всасывающие клапаны 3 установлены в днище поршня, а нагнетательные клапаны 4 в подвижной плите 5.

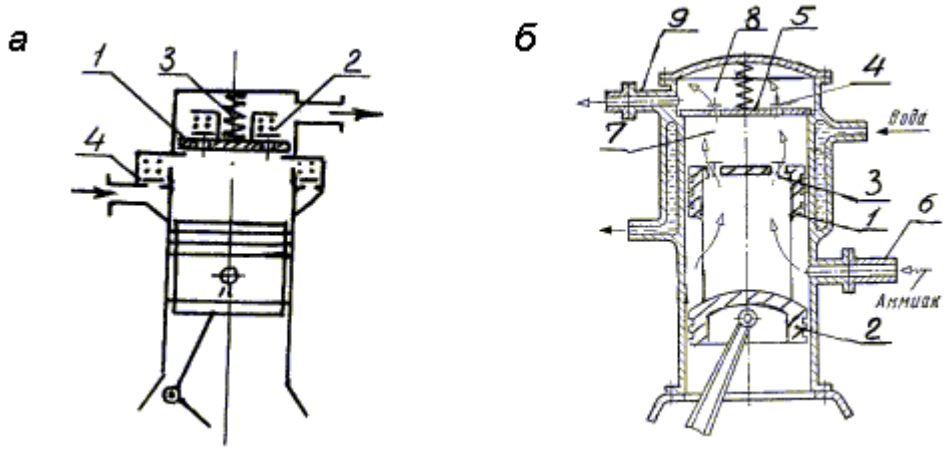

Рис. 1.6. Схема *а* – непрямоточный компрессор; схема *б* – прямоточный компрессор

Пары агента подводятся внутрь поршня по трубе 6. Когда поршень двигается вниз в полости 7 цилиндра создается разрежение и через всасывающие клапаны 3 происходит наполнение цилиндра парами. При ходе поршня вверх клапаны 3 закрываются, пары сжимаются. Когда их давление превысит давление в полости 8 открываются нагнетательные клапаны 4 и по трубе 9 сжатие пары вытесняются в конденсатор холодильной установки. Прямоточные компрессоры предназначены для

работы на аммиаке, а иногда на фреоне. Прямоточность вторая особенность поршневых холодильных компрессоров.

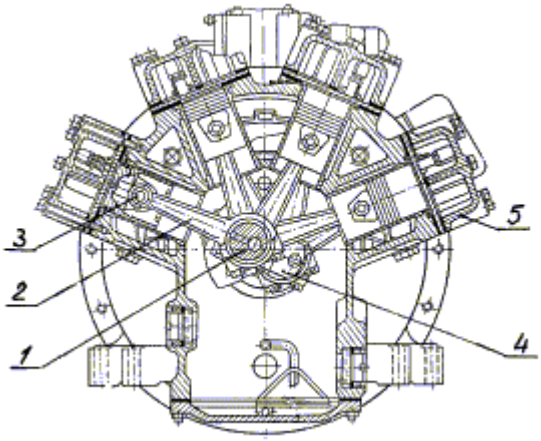

Рис.1.7.Восьмицилиндровый компрессор

Третьей особенностью холодильных компрессоров является своеобразная организация двухстепенчатой работы. Если у воздушных поршневых компрессоров в одном корпусе размещались цилиндры низкой ступени сжатия (обязательно большого диаметра) и высокой ступени сжатия (меньшего диаметра). То двухступенчатое сжатие холодильных компрессоров организуется несколькими вариантами:

- число цилиндров компрессора может быть равно двум, четырем, шести и восьми (рис. 1.7) при одинаковом их диаметре. Здесь одну шейку 1 кривошипа коленчатого вала охватывают нижними головками четыре шатуна 2, соединенных с поршнями пальцами 3. Четыре других шатуна охватывают шейку второго кривошипа 4. Крышка 5 общая для двух цилиндров первого и второго рядов. Этот компрессор может работать в одноступенчатом режиме. Его производительность зависит от оборотов приводящего электродвигателя. В режиме двухступенчатого сжатия шесть его цилиндров работают как первая ступень сжатия. А два в режиме второй ступени сжатия. Четырехцилиндровый компрессор также может работать в режиме одноступенчатого и двухступенчатого сжатия: три цилиндра – первая, а один – вторая ступени сжатия;
- поршневой компрессор с большим объемом цилиндров работает ступенью низкого давления, а другой поршневой компрессор с малым объемом цилиндров – ступенью высокого давления;
- в качестве первой ступени сжатия применяется винтовой компрессор (рис. 1.8), а в качестве второй ступени сжатия многоцилиндровый поршневой компрессор (рис. 1.9).

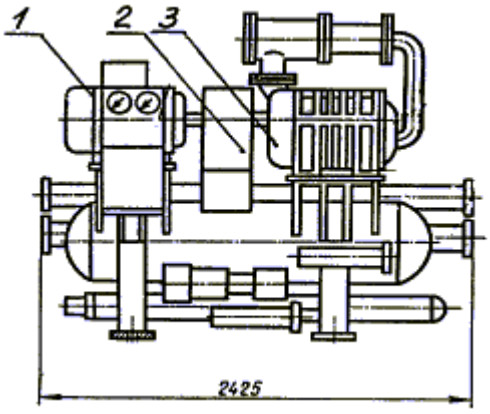

Рис.1.8 Винтовой компрессор: 1 – электродвигатель; 2 – кожух муфты; 3 – компрессор

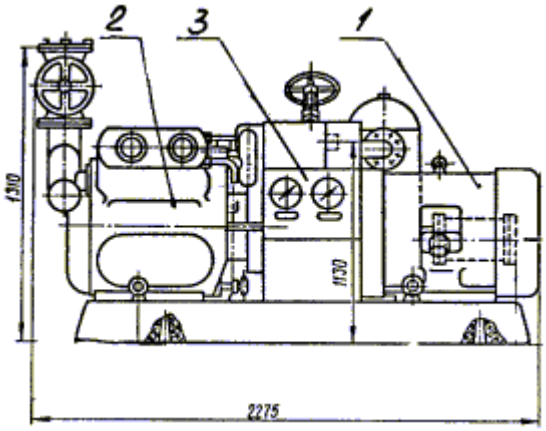

Рис. 1.9. Поршневой компрессор: 1 – электродвигатель; 2 – компрессор; 3 – блок приборов

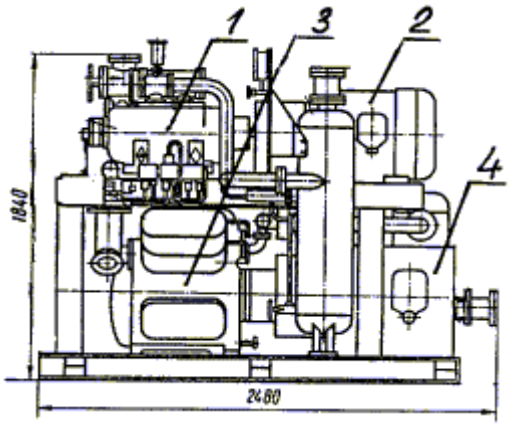

Рис.1.10.Ротационный и поршневой компрессоры

- в качестве первой ступени сжатия применяется ротационный компрессор, а в качестве второй ступени – поршневой компрессор. На рис. 1.10 ротационный компрессор 1 и его электродвигатель 2 совмещены в общей раме с поршневым компрессором 3 и его электродвигателем 4.

Многообразие вариантов организации двухступенчатого сжатия паров холодильных агентов характерная особенность холодильных компрессоров.

Схема винтового компрессора показана на рис. 1.11. Он имеет ведущий вал 1 и ведомый вал 2 , на которых выполнены винтовые тела 3 и 4.

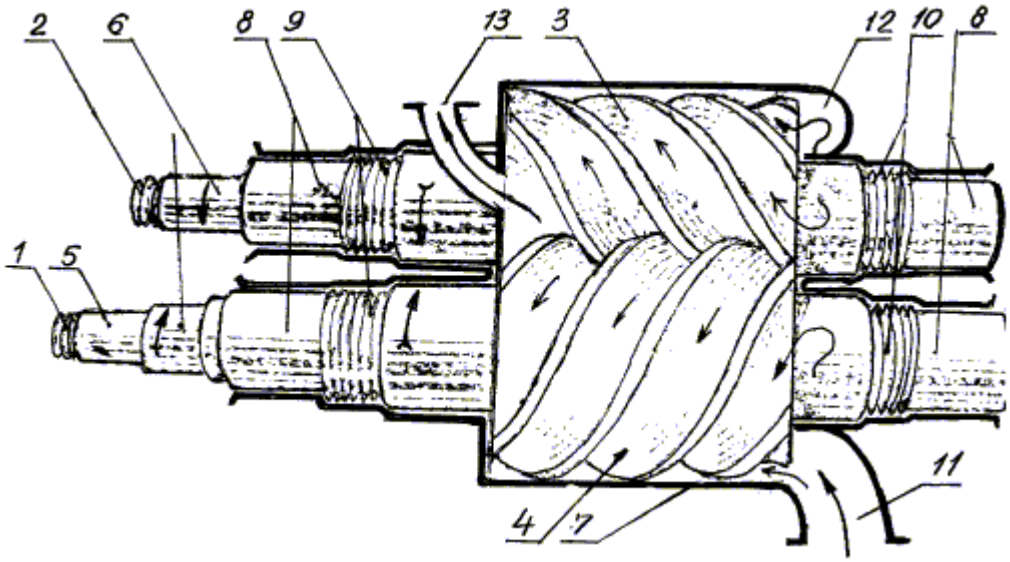

Рис. 1.11. Винтовой компрессор

На шейку 5 ведущего вала напрессовывается полумуфта, сочлененная с полумуфтой электродвигателя. На шейки 6 обоих валов напрессовываются шестерни для передачи вращения от вала 1 к валу 2. Винты компрессора не касаются друг друга и корпуса цилиндра 7. Поверхности 8 опираются на подшипники скольжения. Лабиринтовые уплотнения 9 и 10 препятствуют проникновению масла подшипников в цилиндр. Атмосферный воздух или пары холодильного агента через патрубок 11 наполняют кольцевую полость 12.

Из этой полости впадины винтов заполняются воздухом или парами. Затем в эти впадины входят выступы винтов и гонят среду влево, при этом её объем

уменьшается, а давление возрастает. Через патрубок 13 сжатая среда вытесняется по назначению.

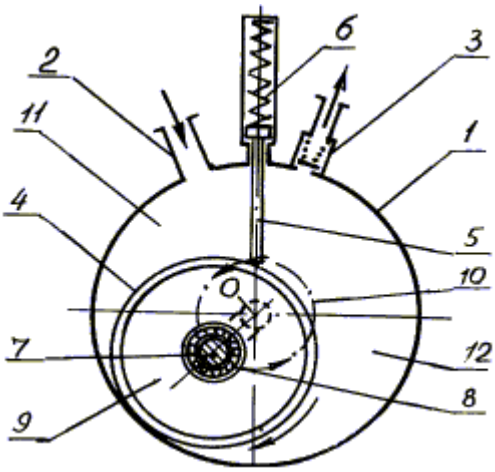

Схема ротационного компрессора с катящимся поршнем приведена на рис. 1.12. Он имеет цилиндр 1, закрытый с торцов крышками, всасывающий патрубок 2, нагнетательный клапан 3, цилиндрический пустотелый поршень (ротор) 4, пластину 5 с пружинами 6, делящую объем цилиндра на две полости. Через боковые крышки цилиндра в полость поршня входит коленчатый вал с осью вращения в точке О. Шейка 7 кривошипа вала проходит через подшипник качения 8, запрессованный в перегородку 9 в средней части ротора. При вращении вала шейка кривошипа описывает окружность 10, а поршень – ротор катится по поверхности цилиндра. В изображенном положении поршня 4 происходит всасывание в полость 11 и сжатие в полости 12.

Рис.1.12.Ротационный компрессор

Центробежный компрессор, называемый в холодильной технике турбокомпрессором, изображен на рис. 1.13. В нем установлен вал 1 в подшипниках скольжения 2. На валу напрессованы колеса 3, оснащенные по окружности лапатками 4. При вращении колес центробежная сила выбрасывает массу газа или паров из межлопаточных каналов, сжимает их и перемещает из всасывающего патрубка 5 в нагнетательный патрубок 6. Этот компрессор трехступенчатого сжатия. Для предотвращения выхода сжатой среды в атмосферу установлено уплотнение вала 7. Кроме центробежных к турбокомпрессорам относят осевые компрессоры [9].

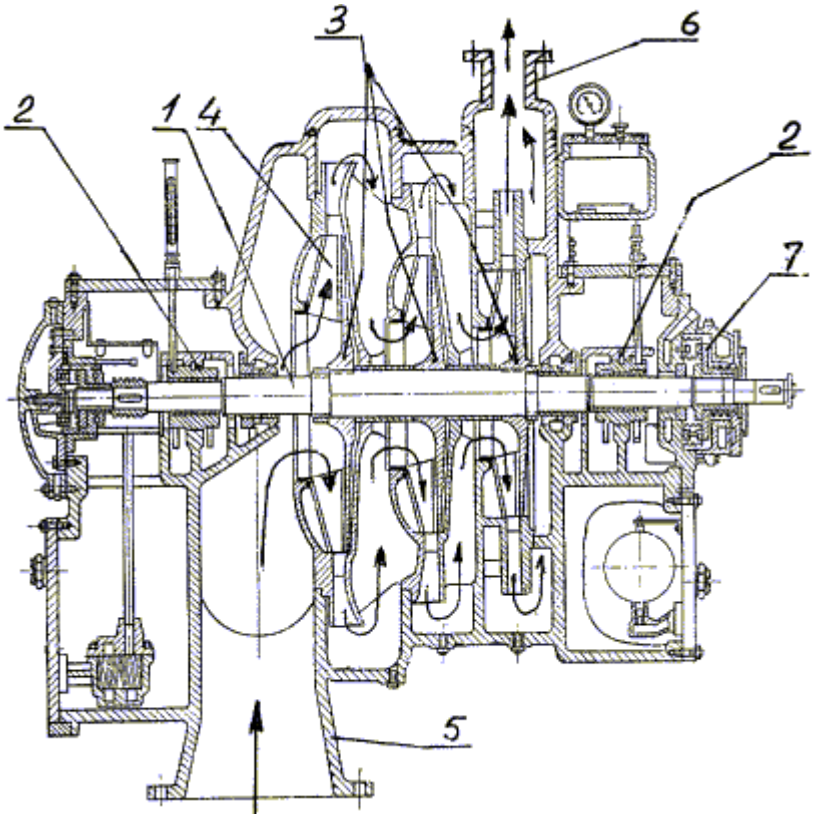

Рис. 1.13. Центробежный компрессор

2. ХОЛОДИЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ

Холодильные установки – это обширная область специальных знаний, конструкций и способов получения низких температур, от близких к нулю до глубоко отрицательных значений. Эти низкие температуры (холод) создаются в теплоизолированных от окружающей среды объемах (холодильных камерах). Кроме этого назначения, холодильные установки применяются для нагрева воды или воздуха в системах отопления зданий и называются в этом случае тепловыми насосами. Поскольку холодильные установки применяются для охлаждения (понижение потенциала теплоты) и для нагрева (повышения потенциала теплоты) им часто дают общее название – трансформаторы теплоты.

Применяют холодильные установки для сохранения продуктов питания путем их охлаждения или замораживания, для получения жидких газов (кислорода, водорода, азота, гелия и других), находящих применение в различных отраслях, для разделения смеси газов или смеси жидкостей, для проведения производственных химических реакций при низких температурах, для кондинционирования воздуха в административных, общественных и производственных помещениях.

Промышленный холодильник состоит из многоэтажного, реже одноэтажного здания, разделенного на множество холодильных камер, пристроенного одноэтажного машинного зала, автомобильной и железнодорожной погрузочно-разгрузочных платформ.

Холодильники делятся на производственные, базисные, портовые, распределительные, транспортные, торговые и домашние.

Производственные пищевые холодильники строят в местах производства и заготовки продуктов питания: мясокомбинатах, молокозаводах, масложиркомбинатах, птицефабриках, рыболовных предприятиях. Для обеспечения высокой производительности предприятий, такие холодильники оснащаются холодильными машинами большой холодопроизводительности и низкой температурой холодильного агента.

Базисные холодильники создаются для накопления резерва продуктов питания. Они получают предварительно охлажденные или замороженные продукты, поэтому их холодильные машины имеют невысокую холодопроизводительность, с более высокой температурой холодильного агента.

Портовые холодильники служат для временного хранения продуктов при их перегрузке с одного вида транспорта на другой. Они имеют высокий уровень механизации погрузо-разгрузочных работ как вне, так и внутри холодильника.

Распределительные холодильники строятся в местах потребления продуктов. Здесь прием и выдача продуктов происходит непрерывно. Такие холодильники, располагая холодом, имеют специальные цеха для производства мороженого, водного льда, твердой углекислоты, фасовки продуктов: масла, мяса и других.

Транспортные холодильники служат для сохранения продуктов при их перевозках. Это железнодорожный, водный, авиационный и автомобильный холодильный транспорт.

Торговые холодильники служат для временного хранения продукции в местах её реализации: торговые базы, магазины, рынки, столовые, рестораны.

Домашние холодильники являются последним элементом этой холодильной цепи. На дверцах домашних холодильников нанесены звездочки * : одна звездочка обозначает, что в морозильном отделении этого холодильника достигается температура минус 6 ^{0}С, две – минус 12 ^{0}С, три – минус 18 ^{0}С.

По величине условной емкости промышленные холодильники делят на малые – до 500 т, средние – до 5000 т и крупные – свыше 50

2.3. Аммиачная парокомпрессионная холодильная установка

Существует много различных вариантов компановки элементов холодильных установок. Они описываются в учебной и специальной литературе. Схема рис. 2.4 рассматривается с целью пояснения необходимых элементов холодильной установки и формирования представления о уровне сложности холодильных установок. В схеме три компрессора 1,2 и 3, включенных параллельно. Это позволяет менять холодопроизводительность установки изменением числа работающих компрессоров.

Компрессоры всасывают пары аммиака из трубы 4 через грязеуловители 5. Чтобы снизить нагрузку на электродвигатели во время пуска компрессоров, байпасные клапаны 6 сообщают нагнетательную трубу компрессора с всасывающей. Обратные клапаны 7 не пропускают пары из напорной трубы 8 в компрессор когда он отключен. По трубе 8 сжатые пары поступают в маслоотделитель 9 и далее через вентиль 55 в конденсатор 10. Вентиль 47 при этом закрыт. Из маслоотделителя 9 масло стекает в накопитель 11 с некоторым количеством аммиака, пары которого по трубе 12 удаляются во всасывающий коллектор 4. При закрытом вентиле 13 и открытом 14 масло из накопителя 11 стекает в маслосборник 15, а через вентиль 16 в картеры компрессоров по трубе 17.

Из конденсатора, в котором по трубкам 18 протекает вода, жидкий аммиак стекает в линейный ресивер 19 по трубе 20. Для выравнивания давлений в конденсаторе и ресивере установлена труба 21. Масло, попавшее в конденсатор, оседает внизу отстойника 22 и по трубе 23 при открытии вентиля 24 вытесняется в маслосборник 15 с некоторым количеством аммиака. Из маслосборника по трубе 25 пары аммиака отсасываются в компрессоры.

Из ресивера 19 аммиак по трубе 26 поступает в водяной охладитель 27. Из охладителя он направляется в поглотитель влаги (воды) 28, фильтры 29 и по трубе 30 через вентиль 31 в раздаточный коллектор 32. Влагопоглотитель включают периодически, поэтому нормально аммиак течет через вентиль 33. Влагопоглотитель наполнен силикагелем SiO_2.

Кроме масла и воды в установке нежелателен воздух, так как обволакивая трубки 18 конденсатора он затрудняет теплопередачу от паров агента к охлаждающей воде. Применяют различные конструкции воздухоотделителей. Простейший из них представляет емкость 34, в которую по трубе 35 поступают пары аммиака с воздухом. Пары, охлажденные водой, конденсируются, а воздух через вентиль 36 пробулькивает через воду в прозрачной емкости 37. Когда выход пузырьков воздуха прекращается вентиль 36 закрывают, а вентиль 38 открывают для слива конденсата аммиака.

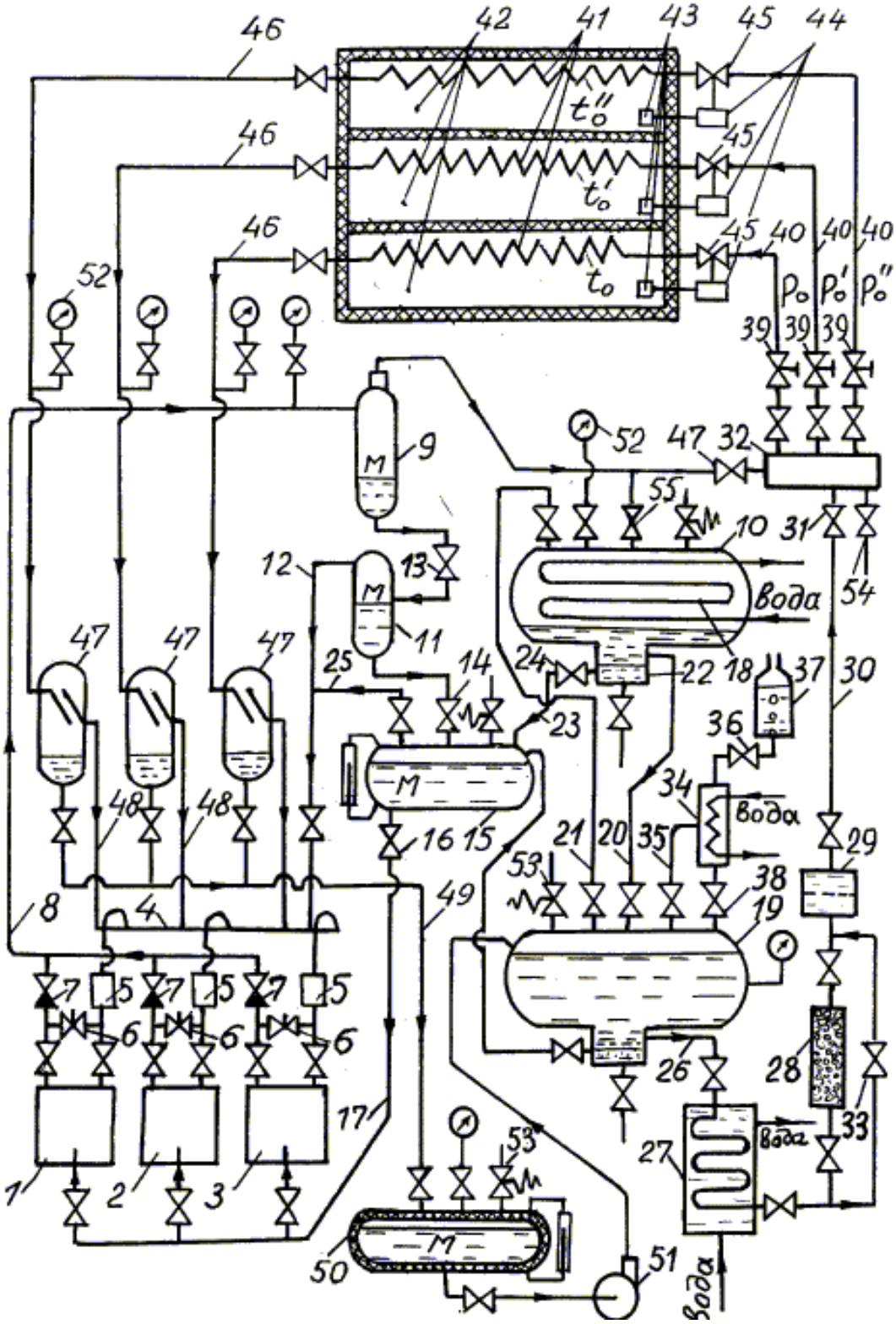

Рис. 2.4. Аммиачная парокомпрессионная холодильная установка

Из коллектора 32 обезвоженный охлажденный аммиак проходит через регулирующие вентили 39 и по трубам 40 в охлаждающие батареи 41 холодильных камер 42. Регулирующие вентили могут быть открыты на разную величину, чтобы давление за ними падало до разных значений p_0, $p_0^{/}$, $p_0^{//}$. Тогда температура кипения аммиака в батареях на разных этажах здания будет разной t_0, $t_0^{/}$, $t_0^{//}$. Необходимость разных температур обусловлена хранением разных продуктов и разных сроков их хранения. Так мясо хранят при –18 … -20^0, рыбу в зависимости от жирности при -18 … - 35 ^{0}С, соленую рыбу в бочках при + 5 …+ 10 ^{0}С, фрукты при 0 … +7 ^{0}С. В холодильных камерах в воздухе (или на трубах батарей со стороны выхода паров), устанавливают термодатчики 43. При изменении температуры воздуха (или паров агента), они через исполнительный механизм 44 воздействуют на вентили 45, увеличивая или уменьшая приток жидкого агента в батареи. Из охлаждающих батарей пары аммиака с температурами t_0, $t_0^{/}$, $t_0^{//}$ по трубам 46 поступают в отделители жидких частиц аммиака 47 и далее по трубам 48 во всасывающий коллектор 4 и в компрессоры. Из отделителей 47 жидкий аммиак стекает по трубе 49 в защитный ресивер 50. Накопившийся здесь аммиак перекачивается насосом 51 в линейный ресивер 19. На конденсаторе и ресиверах установлены манометры 52 и предохранительные клапаны 53. Пополнение системы жидким аммиаком производится через вентиль 54. На внешнюю поверхность охлаждающих батарей выпадает влага из воздуха холодильных камер, образуя увеличивающийся слой инея. Он ухудшает теплообмен между воздухом и кипящим аммиаком. Для удаления инея включают один компрессор, закрывают вентили 55 и 31, открывают вентиль 47. При этом горячие пары аммиака проходят по трубе 8 в маслоотделитель 9 и через вентиль 47 поступают в коллектор 32. Затем через регулирующие вентили 39, трубы 40, батареи 41 и по трубам 46 через отделители 47 в коллектор 4 и опять в компрессор.

Если через батареи течет рассол, то для их оттаивания рассол посылают насосом в специальный нагреватель, а затем в батареи.

Компрессоры отсасывают пары из охлаждающих батарей 41, что может понизить давление, заданное регулирующими вентилями 39 и температуру кипения. Поэтому на всасывающей линии устанавливают реле останавливающее электродвигатель компрессора.

Недопустимо также повышение давления сверх рабочего в конденсаторе 10. Поэтому останавливающее электродвигатель реле установлено также и на нагнетательной линии. Эти реле не показаны.

2.4. Рабочий процесс парокомпрессионной холодильной установки в координатах T-s

Диаграммы составляются для 1 кг агента. Схема диаграммы T-s приведена на рис. 2.5. Если рабочим телом является аммиак, пояснение рабочего процесса установки начинается с точки 1, так как аммиачная установка не имеет регенеративного теплообменника (позиция 5, рис. 2.2), поэтому компрессор всасывает из испарителя сухой насыщенный пар (x = 1) при p_0 и T_0. Фреоновая установка имеет регенеративный теплообменник, поэтому компрессор всасывает перегретый пар

состояния точки R при T_R и p_0. Процесс перегрева паров 1 – R происходит в регенеративном теплообменнике.

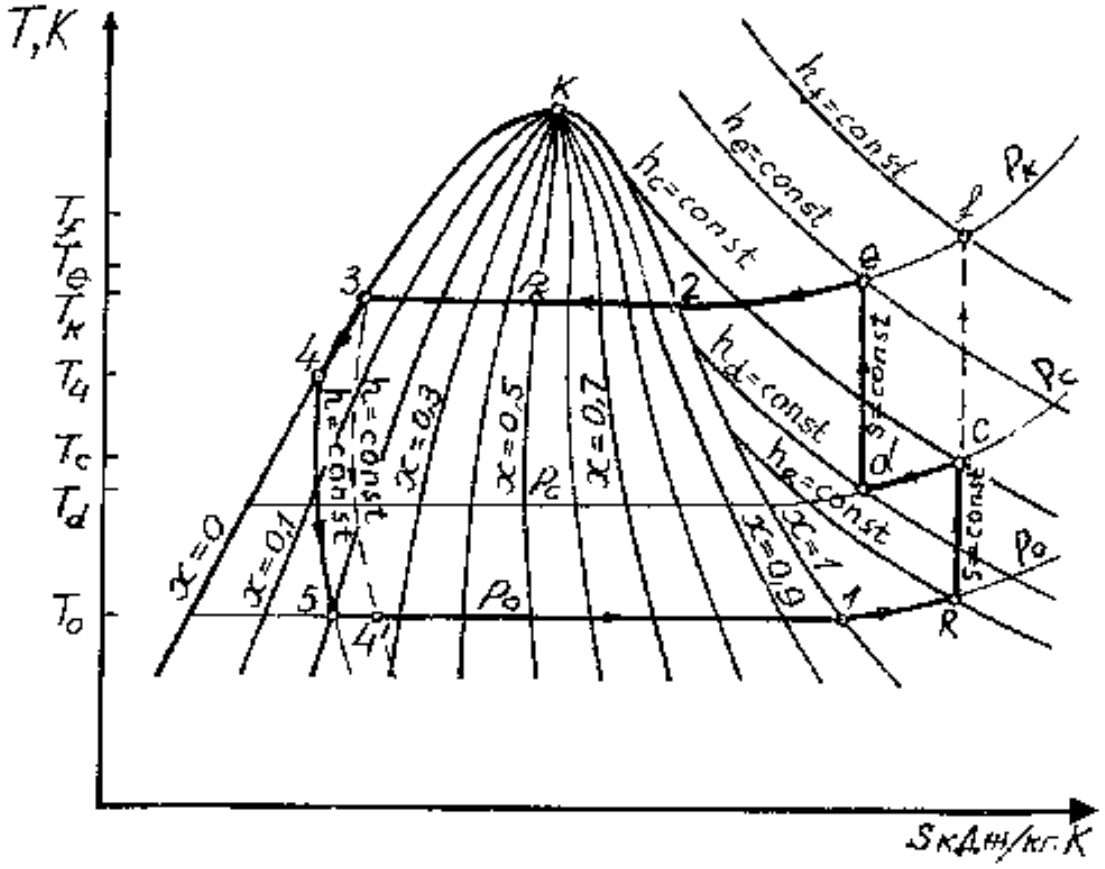

Рис. 2.5. Схема диаграммы T-s

В процессе R –c пары агента адиабатно сжимаются до p_c в первой ступени компрессора и вытесняются в промежуточный водяной или воздушный охладитель, где остывают от T_c до T_d при p_c = const. Во второй ступени пары сжимаются также адиабатно в процессе d-e до давления в конденсаторе $p_к$ и T_e. Перегретый пар точки e охлаждается в конденсаторе при p_K = const до состояния сухого насыщенного пара в точке 2, а затем конденсируется и полностью превращается в жидкость (x = 0) в точке 3 при T_K. Жидкий аммиак затем поступает в водяной охладитель, а фреон в регенеративный охладитель, где охлаждаются от $T_3 = T_K$ до T_4 при p_K = const. Затем жидкий агент поступает в регулирующий вентиль, где дросселируется при h = const в процессе 4-5 от p_K, T_4 до p_0, T_0. В охлаждающей батарее (или испарителе) агент кипит при p_0, T_0 в процессе 5-1 и превращается в сухой насыщенный пар точки 1.

Охлаждение жидкого агента перед дросселированием повышает холодопроизводительность установки. Так без охлаждения жидкого агента дросселирование протекало бы процессом 3-4$^{/}$. При этом после дросселирования $x_4^{/}$ = 0,27. Это значит, что 0,27 кг жидкого агента испарилось за счет своей теплоты, а 1 – $x_4^{/}$ = 0,73 кг в охлаждающей батарее. При охлаждении в точке 5 x = 0,2. Это значит, что самоиспарилось при дросселировании только 0,2 кг агента, а в охлаждающей батарее испарилось уже 0,8 кг, что больше чем без охлаждения на 0,07 кг. По диаграмме T-s можно найти все параметры необходимые для расчета холодильной установки или теплового насоса. Однако при решении задач в контрольной работе следует применять диаграмму l g p-h. Схема диаграммы l g p-h приведена на рис. 2.6.

По оси ординат отложены абсолютные давления p, в МПа, а по оси абцисс значения энтальпии h в кДж/кг. Изобарные процессы проходят в планшетке координат горизонтально, процессы дросселирования
h = const – вертикально. Изотермы в области жидкости представляются вертикальными. На рабочей диаграмме это не показывается. В области влажного насыщенного пара, между линиями x = 0 и x = 1, изотермы совпадают с изобарами, а в области перегретого пара они круто опускаются вниз штрих пунктирными линиями. Из точки К опущены линии постоянной степени сухости от x =0,1 до x = 0,9. В области перегретого пара нанесены адиабаты (изоэнтропы s = const). Они начинаются от линии x = 1 и направлены вверх вправо в виде сплошных линий.

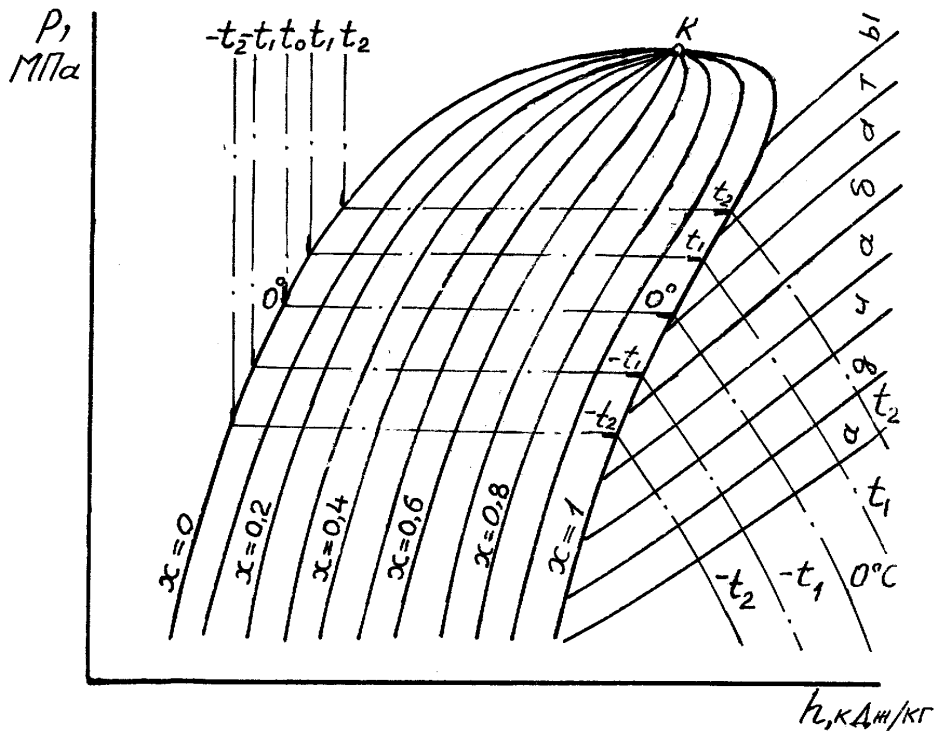

Рис. 2.6. Схема диаграммы l g p-h

3. ЗАДАНИЕ НА КОНТРОЛЬНУЮ РАБОТУ

Контрольное задание включает ответ на два вопроса и решение двух задач.

3.1. Контрольные вопросы

Выбор вопросов производится по последней цифре шифра из табл. 3.1.

Таблица 3.1

Контрольные вопросы

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Номера вопросов	1 11	2 12	3 13	4 14	5 15	6 16	7 17	8 18	9 19	10 20

Ответы на вопросы можно найти в рекомендованной и другой литературе.

1. Изобразите и поясните в диаграмме T-s обратный цикл Карно. Поясните его холодильный коэффициент e = q_0/l и коэффициент преобразования j = q_1 /l . [4] с. 13 … 15.
2. Укажите основные требования к холодильным агентам. [4] с. 15.
3. Что такое нормальная температура кипения хладоагентов, число Гульберта и Трутона? [7] с. 31.
4. Укажите принцип действия вихревой охлаждающей трубы. [6] с. 179 … 189.
5. Опишите режимы хранения охлажденной и замороженной продукции. [4] с. 493 … 510.
6. Какие хладоносители применяют в холодильных установках? [4] с. 282; [7] с.69.
7. Что такое дроссельный и адиабатный (детандерный) процессы снижения температуры? [3] с. 47, 49; [7] с.25.

8. С какой целью используют каскадные холодильные установки? Опишите по схеме их работу. [3] с. 83; [4] с. 51.
9. Приведите схему и объясните рабочий процесс турбохолодильной установки ТХМ-300. [3] с.377.
10. Приведите схему и опишите сущность термоэлектрического охлаждения. [3] с. 378; [6] с. 189 … 203; [7] с.317.
11. Приведите схему и объясните сущность термомагнитного охлаждения. [5] с. 176 … 182; [6] с. 189 … 203.
12. Приведите схему и поясните рабочий процесс абсорбционной холодильной установки. [3] с. 430; [7] с.311.
13. Приведите планы цехов промышленного холодильника и опишите назначение отдельных подразделений. [2] с. 41…61.
14. Приведите схему и опишите принцип сжижения воздуха по Линде. [5] с. 67.
15. Приведите простейшую схему и опишите сжижение газов по Клоду и Капице. [5] с. 91, с. 101.
16. Какова схема и работа холодильной установки вагона рефрижераторной секции Брянского завода (БМЗ)? [7] с.217.
17. Приведите и объясните схему холодильной установки автономного рефрижераторного вагона. [7] с. 208.
18. Приведите схему парокомпрессионного домашнего холодильника и опишите его работу. [9] с. 82.
19. Приведите схему и поясните принцип действия пароэжекторной холодильной установки.[7] с. 311 … 312.
20. Приведите схемы и опишите методы получения водного льда. [2] с. 334 – 285; [4] с. 372 … 390.

3.2. Исходные данные и методика решения задачи № 1

Провести термодинамический расчет теоретического цикла теплового насоса для отопления здания и привести схему цикла в диаграмме
l g p-h. Исходные данные следует взять из табл. 3.2. по последней цифре шифра.

Таблица 3.2

Исходные данные к задаче 1

Последняя цифра шифра	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Теплопроизводительность Q_1 10^{-3}, кДж/ч*	40	36	42	51	48	39	52	44	38	50
Хладагент: фреон	12	22	12	22	12	22	12	22	12	22
Температура конденсации $t_К$, ^{0}C	+22	+24	+20	+21	+26	+28	+30	+25	+27	+29
Температура кипения t_0, ^{0}C	-31	-28	-25	-30	-27	-24	-22	-30	-29	-20
Степень регенерации, ?	0,6	0,55	0,48	0,52	0,45	0,5	0,43	0,61	0,54	0,6

Примечание: $Q_1 = 40 \cdot 10^3$ кДж/ч , $Q_1 = 36 \cdot 10^3$ кДж/ч и т.д.

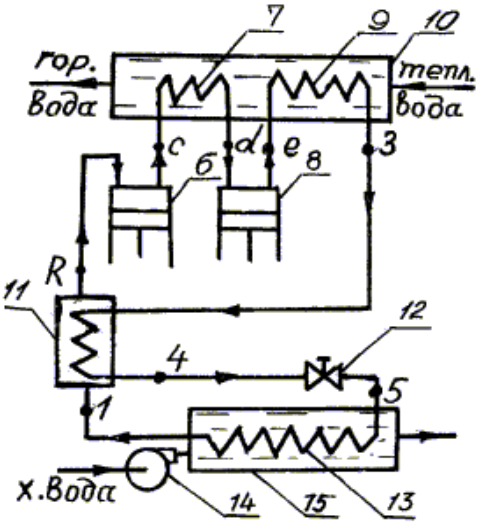

Рис. 3.1. Схема теплового насоса

Схема теплонасосной установки приведена на рис. 3.1. Первая ступень 6 компрессора всасывает перегретые пары состояния точки R, сжимает их по адиабате и выталкивает в промежуточный охладитель 7. Охлажденные предварительно сжатые пары всасываются в цилиндр второй ступени 8 компрессора и, повторно сжатые адиабатно, вытесняются в конденсатор 9. Теплота паров в охладителе 7 и конденсаторе 9 передается воде системы отопления, протекающей через её нагреватель 10, в количестве Q_1. Жидкий агент стекает из конденсатора в регенеративный охладитель 11, где охлаждается парами агента. Пары при этом перегреваются, а охлажденный жидкий агент направляется через регулирующий вентиль 12 в испаритель 13. Насос 14 прокачивает через теплообменник 15 холодную воду из водоема. Вода отдает агенту теплоту Q_0 и он кипит при отрицательной температуре. Сухие пары агента с температурой t_0 входят в регенеративный теплообменник 11, где перегреваются жидким агентом и вновь всасываются в цилиндр первой ступени сжатия.

На привод компрессора электродвигатель затрачивает работу $L_к$. Вода системы отопления получает теплоту $Q_1 = Q_0 + L_к$. Совершенство холодильной установки определяет холодильный коэффициент $e = Q_0/L_к$, а теплового насоса – коэффициент преобразования $j = Q_1/L_к$.

Порядок решения задачи

1. Отношение абсолютных температур конденсации и кипения равно

$$n = T_к/T_0 .$$

2. Температура перегретых паров фреона после регенератора, К,

$$T_R = T_0 + m\,(T_K - T_0).$$

3. Определить энтальпию паров h_R в точке R. Для этого на диаграмме l g p-h находят на линии x = 0 температуру t_0. Затем на оси p против этой температуры находят давление в испарителе p_0. Точка R лежит на пересечении этой изобары p_0 = const и изотермы t_R = const.
4. Найти энтальпию h_f. Она имела бы место при адиабатном сжатии паров от p_0 до p_K в одноступенчатом компрессоре. Значение давления $p_к$ находят по величине t_K, как находили p_0 в пункте 3.
5. Вычислить адиабатный теплоперепад, кДж/кг, $h = h_f - h_R$.
6. Определить значение вспомогательных функций a_m и z

$$a_m = \frac{T_f}{T_R} - 1 \quad ; \qquad Z = \frac{1}{a_m}\frac{(\nu-1)(1-\mu)}{(1+\mu)(\nu-1)}.$$

7. Определить оптимальное значение относительной работы в первой ступени сжатия, при которой коэффициент преобразования j достигает максимума

$$\bar{h}_{ОПТ} = \frac{1}{a_m}\left[\sqrt{(1+a_m)(1+a_m Z)} - 1\right].$$

8. Найти энтальпию паров в конце адиабатного сжатия паров в первой ступени компрессора, кДж/кг, $h_C = h_R + h\,\bar{h}_{опт}$.
9. Найти точку C на пересечении линии адиабаты R – f и энтальпию h_C. Определить p_C по точке C.
10. Найти точку d на пересечении изобары p_C с изотермой t_K. Определить энтальпию h_d.
11. Найти точку e на пересечении адиабаты d – e с изобарой p_K. Определить h_e.
12. Определить энтальпию h_2. Для этого находят точку 2 на пересечении изобары p_K и линии сухого насыщенного пара x = 1.
13. Найти точку 3 как точку пересечения изобары p_K с линией x = 0. Определить h_3.
14. Вычислить абсолютную температуру жидкого агента на выходе из регенеративного теплообменника, К,

$$T_4 = T_3 - \frac{C_{pm}}{C_m}(T_R - T_0),$$

где $T_3=T_K$; C_{pm}/C_m = 0,6 – отношение средней теплоемкости паров агента к средней теплоемкости кипящего жидкого агента в регенераторе.
15. Найти точку 4 на пересечении изотермы t_4 и изобары p_K. Определить $h_4 = h_5$.
16. Вычислить коэффициент преобразования теплового насоса

$$\varphi = \frac{(h_e - h_3) + (h_C - h_d)}{(h_C - h_R) + (h_e - h_d)}.$$

Коэффициент преобразования j показывает сколько килоджоулей теплоты получила вода системы отопления на один килоджоуль работы, затраченной электродвигателем на привод компрессора.
17. Определить эффективность цикла, %,

$$Э = (1 - \frac{1}{\varphi})100.$$

Воду в системе отопления можно греть электронагревателями. При сообщении воде теплоты Q_1 тепловой насос расходует электроэнергии на Э % меньше, чем её израсходовали бы электронагреватели.
18. Вычислить часовую прокачку фреона, кг/ч,

$$G = \frac{Q_1}{(h_e - h_3) + (h_C - h_d)}$$

19. Найти степень повышения давления в первой и второй ступенях компрессора: $p_{K1} = p_c/p_0$, $p_{K2} = p_K/p_C$.

3.3. Исходные данные и методика решения задачи № 2

Определить объемные и энергетические характеристики одноступенчатого компрессора, работающего на хладагенте, заданном в задаче 1. Исходные данные следует взять из табл. 3.3 по предпоследней цифре шифра.

Таблица 3.3

Исходные данные к задаче № 2

Предпоследняя цифра шифра	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Давление всасывания p_0, МПа	0,18	0,14	0,17	0,16	0,15	0,18	0,13	0,15	0,17	0,14
Давление нагнетания p_K, МПа	0,61	0,59	0,55	0,60	0,57	0,54	0,61	0,58	0,57	0,60

Объемная подача компрессора V_0, м^3/ч	39	49	52	45	50	38	48	55	40	51
Число цилиндров i	3	4	4	3	4	3	4	4	3	4
Частота вращения вала компрессора n, 1/мин	910	850	760	810	950	920	980	870	840	900

Порядок решения задачи

1. По заданным p_0 и p_K найти по диаграмме l g p-h значения температуры кипения t_0 агента и температуры его конденсации t_K.
2. Рассчитать объемный коэффициент подачи компрессора

$$\lambda_0 = 1 - C_0\left[(p_K / p_0)^{1/m} - 1\right],$$

где C_0 = 0,02…0,08 – коэффициент вредного пространства цилиндра компрессора. Чем он меньше, тем больше l_0;

m = 1 – показатель политропного расширения паров агента, оставшихся в объеме вредного пространства.

3. Найти коэффициент подогрева паров при всасывании: $l_п = T_0/T_K$.
4. Принять значение коэффициента плотности цилиндра: $l_{ПЛ}$ = 0,96…0,98.
5. Определить коэффициент дросселирования $l_{ДР}$, вызванный сопротивлением всасывающего клапана

$$l_{ДР} = 1 - (1 + C_0)\, D\, p_0 / l_0,$$

где $D\, p_0$ = 0,02…0,03 – относительная величина потерь давления в процессе всасывания.

6. Вычислить коэффициент подачи компрессора

$$l = l_0\, l_П\, l_{ПЛ}\, l_{ДР}.$$

7. Определить объем, описываемый поршнями компрессора, м^3/ч,

$$V = \frac{V_0}{\lambda}.$$

8. Определить рабочий объем, описанный одним поршнем, м^3,

$$V_h = V / i.$$

10. Выбрать соотношение хода поршня s компрессора к диаметру цилиндра D:

$$s / D = 0{,}7 \ldots 1{,}0.$$

11. Определить диаметр цилиндра, м,

$$D = \sqrt[3]{V_h / \left[15\pi n (s/D)\right]}.$$

12.Определить ход поршня, м, S = D (S/D)

13. Определить индикаторный КПД компрессора: $h_i = T_0/T_K + bt_0$,

где b = 0,0025 – опытный коэффициент для фреоновых компрессоров.

4. РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Назначение трансформаторов теплоты

Классификация и схемы принципов повышения потенциала теплоты. Области использования трансформаторов теплоты. Холодильные и теплонасосные системы. Основные исторические этапы и перспективы развития техники трансформации теплоты.

Свойства рабочих тел низкотемпературной техники

Назначение рабочих агентов, абсорбентов и хладоносителей. Классификация рабочих агентов и абсорбентов. Основные требования к их теплофизическим и техническим свойствам. Требования к безопасности рабочих агентов. Характеристика наиболее распространенных холодильных агентов и абсорбентов. Правило нумерации фреонов. Зависимость их свойств от молекулярного состава. Характеристика наиболее распространенных рабочих тел газовых холодильных установок.

Паровые компрессионные холодильно-теплонасосные системы

Схемы одно- и многоступенчатых установок и области их применения. Удельные энергозатраты и КПД паровых компрессионных трансформаторов теплоты. Регенеративный теплообмен в паровых компрессионных трансформаторах теплоты, его эффективность и целесообразность использования. Методика расчета одноступенчатых паровых компрессионных трансформаторов теплоты.

Применение многоступенчатых трансформаторов теплоты. Методика их расчета. Условия их работ. Энергетическая эффективность. Каскадные холодильные установки. Схема и принцип работы. Область использования.

Типы паровых поршневых компрессоров. Центробежные компрессоры, ротационные и винтовые компрессоры.

Газовые (воздушные) компрессионные трансформаторы теплоты

Особенности процессов газовых трансформаторов теплоты. Идеальные газовые циклы с изобарическим и изотермическим подводом и отводом теплоты и их энергетический анализ. Основные отличия схем и процессов реальных газовых трансформаторов теплоты от идеальных. Регенерация. Холодильный коэффициент и коэффициент трансформации.

Абсорбционные установки

Принцип действия и основные схемы абсорбционных трансформаторов теплоты. Схемы и процессы работы реальных абсорбционных трансформаторов теплоты непрерывного действия. Удельный расход энергии, КПД, холодильный коэффициент, коэффициент трансформации теплоты реальных установок. Двухступенчатые трансформаторы теплоты. Абсорбционно-диффузионные холодильные установки: принципиальные схемы и рабочие процессы.

Струйные трансформаторы теплоты

Принцип действия струйных трансформаторов и их классификация. Принципиальная схема и КПД струйного компрессора. Определение коэффициента инжекции и давления сжатия струйных компрессоров. Предельные режимы. Принципиальные схемы и КПД пароэжекторных холодильных установок. Характеристика струйных компрессоров.

Вихревые трансформаторы теплоты

Принципиальная схема и рабочий процесс. Характеристика вихревой трубы. Её расчет.

Термоэлектрические, термомагнитные и магнитные трансформаторы теплоты

Физические основы термоэлектрического, термомагнитного и магнитного методов трансформации теплоты. Принципиальные схемы установок для получения низких температур. Удельный расход энергии и КПД установок.

Сжижение и замораживание газов

Область промышленного использования сжиженных и замороженных газов. Схемы и особенности работы криогенных установок с эжекторными ступенями. Технические процессы и схемы установок сжижения газов и их энергетическая и техническая оценка. Процессы Линде, Клода, Ройландта, Капицы. Процесс замораживания газов. Получение твердого диоксида углерода. Хранение сжиженных газов. Низкотемпературная теплоизоляция.

Холодильные и теплонасосные установки в энергетике железнодорожного транспорта

Схемы холодильных установок пятивагонных рефрижераторных секций. Схемы кондинционеров пассажирских вагонов. Тепловой баланс вагона. Особенности теплонасосного отопления подвижного состава. Эффективность теплонасосного отопления. Теплонасосные установки в стационарной энергетике железнодорожного транспорта.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

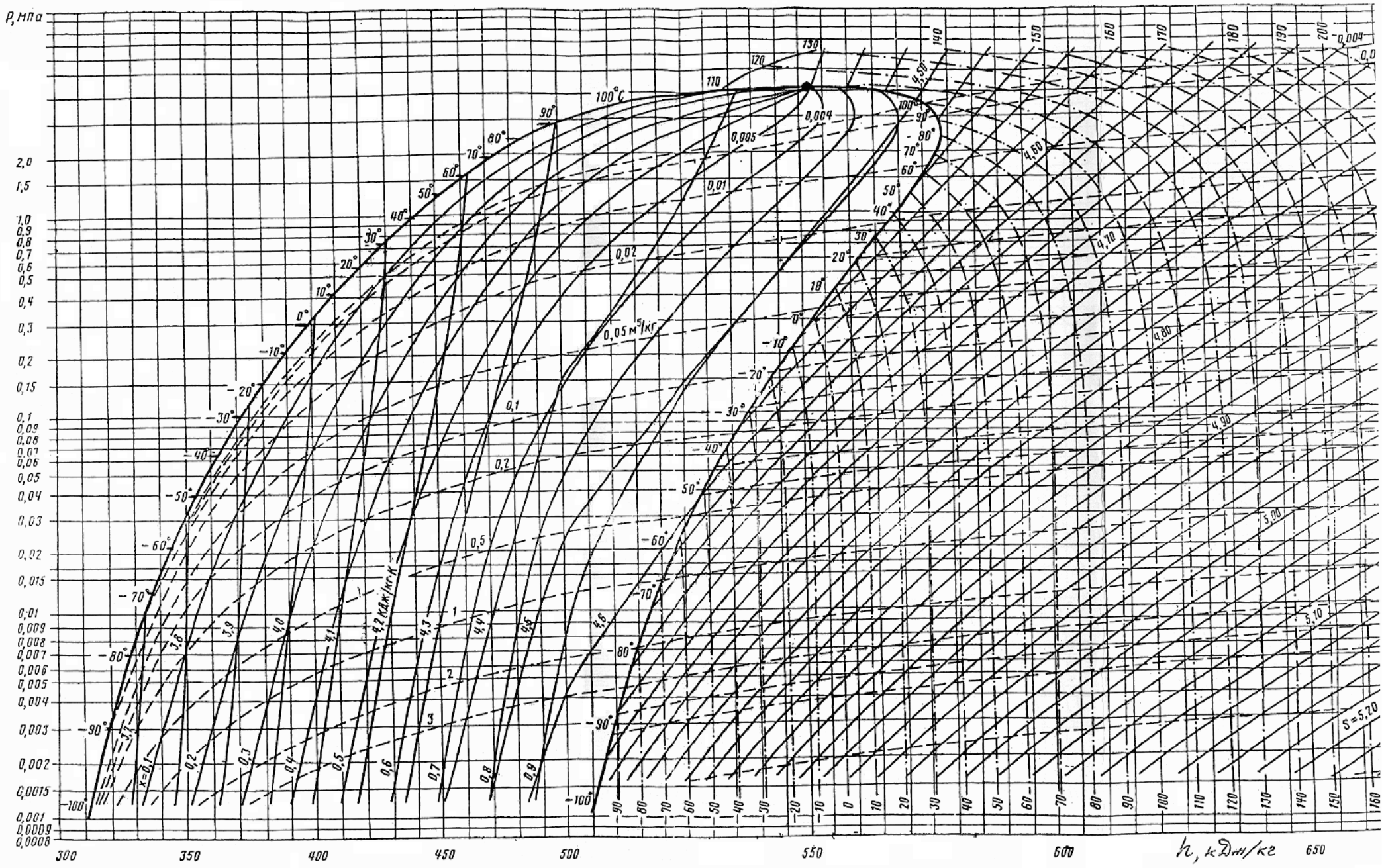

Рис. 1. Диаграмма ℓg p-h фреона – 12

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

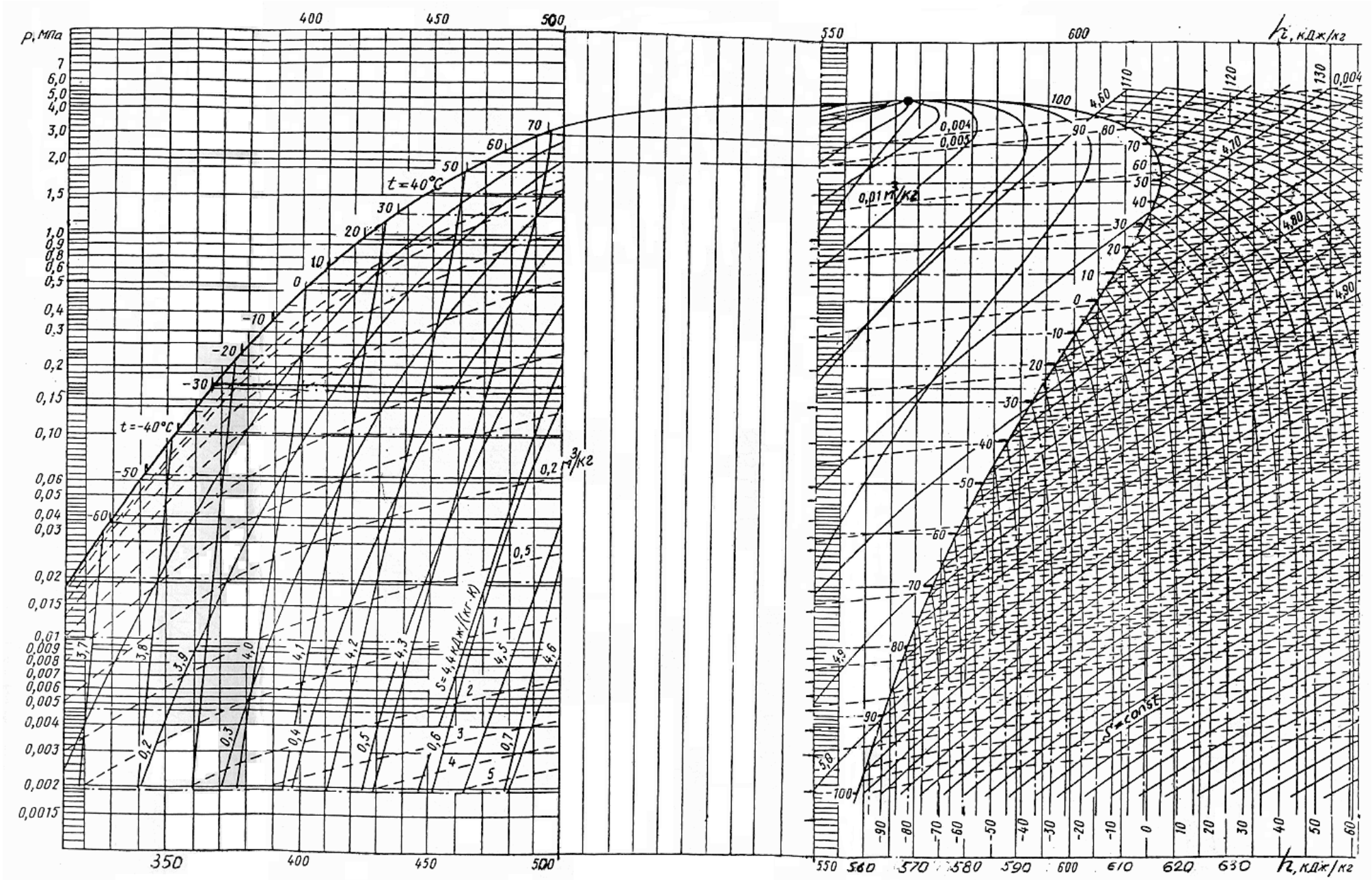

Рис. 2. Диаграмма ℓg p-h фреона – 22

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

(основная)

1. Соколов Е.Я. Энергетические основы трансформации теплоты и процессов охлаждения / Е.Я. Соколов, В.М. Бродянский. – М.: Энергоиздат, 1981. – 320 с.

(дополнительная)

2. Курылев Е.С. Холодильные установки: Учебник для вузов / Е.С. Курылев, Н.А. Герасимов. – Л.: Машиностроение, 1980. – 622 с.

3. Кошкин Н.Н. Холодильные машины: Учебник для вузов /Н.Н. Кошкин, А.Г. Ткачев и др. – М.: Пищевая промышленность, 1973. – 512 с.

4. Мещеряков Ф.Е. Основы холодильной техники и холодильной технологии. – М.: Пищевая промышленность, 1975. – 560 с.

5. Техника низких температур / Под ред. Е.И Микулина. – М.: Энергия, 1964. – 448 с.

6. Мартыновский В.С. Циклы, схемы и характеристики термотрансформаторов. – М.: Энергия, 1979. – 285 с.

7. Постарнак С.Ф. Холодильные машины и установки / С.Ф. Постарнак, Ю.Ф. Зуев. – М.: Транспорт, 1982. – 335 с.

8. Бартош Е.Т. Тепловые насосы в энергетике железнодорожного транспорта. – М.: Транспорт, 1985. – 279 с.

9. Баранов В.М. Теплотехника / В.М. Баранов, А.Ю. Коньков. –ДВГУПС, 1998. – 91 с.

10. Бартош Е.Т. Тепловые насосы и холодильные установки / Рабочая программа и задание на контрольную работу для студентов пятого курса. – М.: ВЗИИТ, 1991. – 15 с.

11. Меренцев С.М. Компрессоры локомотивов. – М.: Транспорт, 1974.