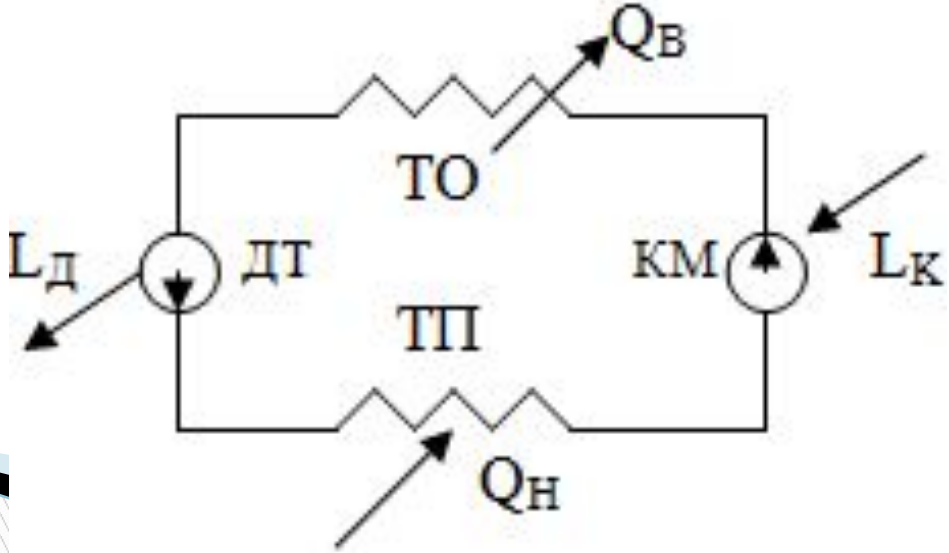
Лекция 9. Холодильные и теплонасосные установки

- **Термотрансформатор (ТТ)** - энергетическая установка, применяемая для передачи энергии в форме тепла от объектов с более низкой температурой $T_н$ (нижний источник тепла - НИТ) к теплоприемникам с более высокой температурой $T_в$ (верхний источник тепла - ВИТ).
- Если НИТ имеет температуру ниже температуры окружающей среды $T_н < T_{ос}$, то установки называются **рефрижераторами или холодильниками** (ХЛУ). Им присваивается класс R - refrigerate.
- Если НИТ имеет температуру $T_н \geq T_{ос}$, то установки называются **тепловыми насосами** (ТНУ). Им присваивается класс H - heat.
- Если $T_н \leq T_{ос} \leq T_в$, то установки называются **теплохолодильными** (ТХУ). Им присваивается класс RH.

- Энергетический баланс идеального термотрансформатора:
- $Q_н + L_к = Q_в + L_д$
- $L_к$ - энергия компрессора;
- $L_д$ - энергия детандера;
- $Q_н$ - энергия, отведенная от НИТ;
- $Q_в$ - энергия, подводимая к ВИТ.
- Принципиальная схема идеального термотрансформатора:



КЛАССИФИКАЦИЯ ТЕРМОТРАНСФОРМАТОРОВ

- **1. По принципу действия ТТ делятся:**
- термомеханический ТТ:
- а) компрессионный:
- - парокомпрессионный;
- - газовый;
- б) сорбционный:
- - адсорбционный;
- - абсорбционный;
- в) струйный:
- - эжекторный;
- - вихревой;
- электромагнитный ТТ:
- а) термоэлектрический;
- б) магнитоэлектрический.

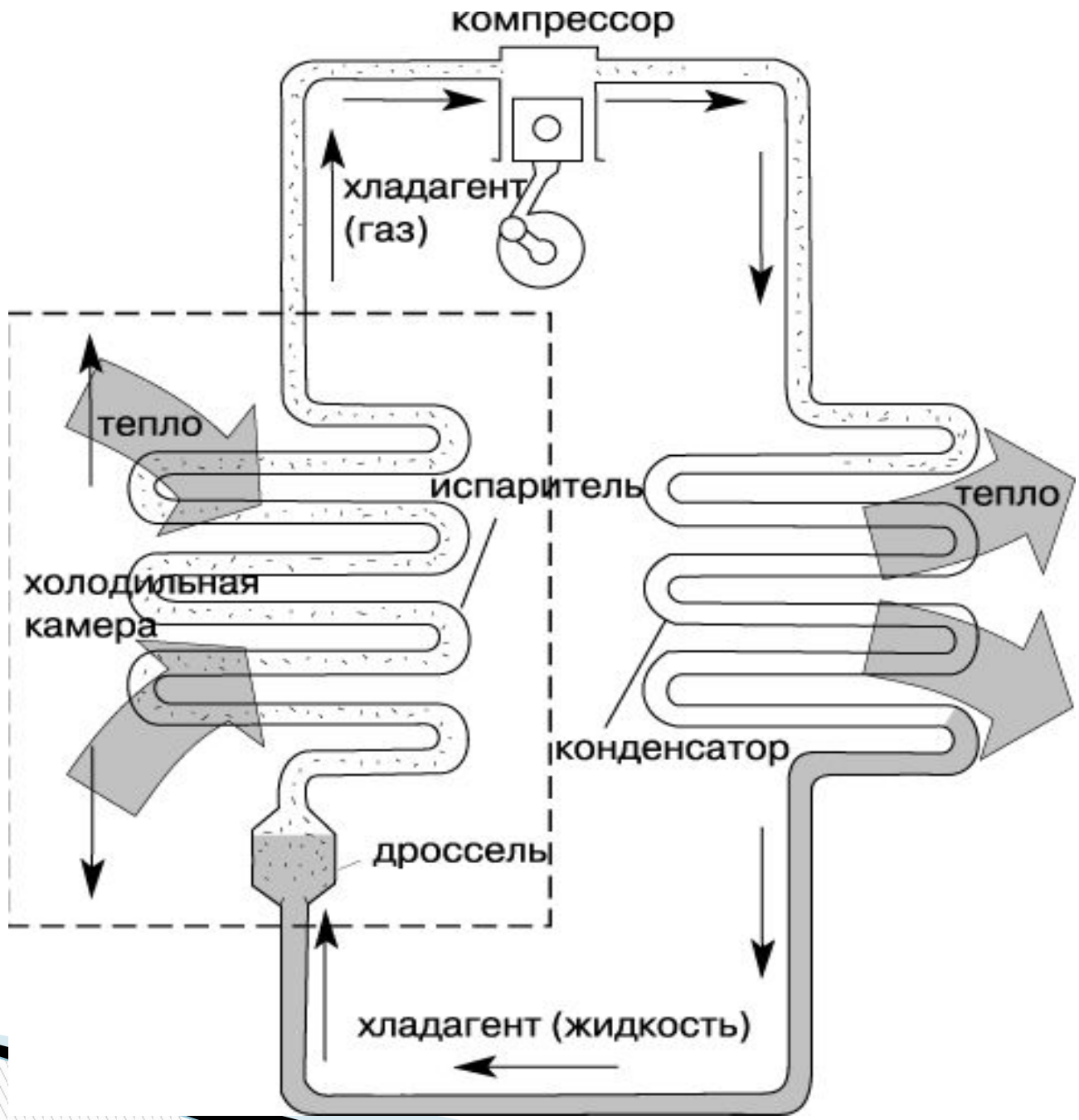
- По характеру трансформации:
- - установки непосредственного нагрева (охлаждения);
- - установки с промежуточным теплохладоносителем.
- Для всех ТТ разность ΔТ = Тв - Тн называется теплоподъемом. По величине теплоподъема все ТТ делятся на одно-, двух-, трех- и более ступенчатые, каскадные схемы.

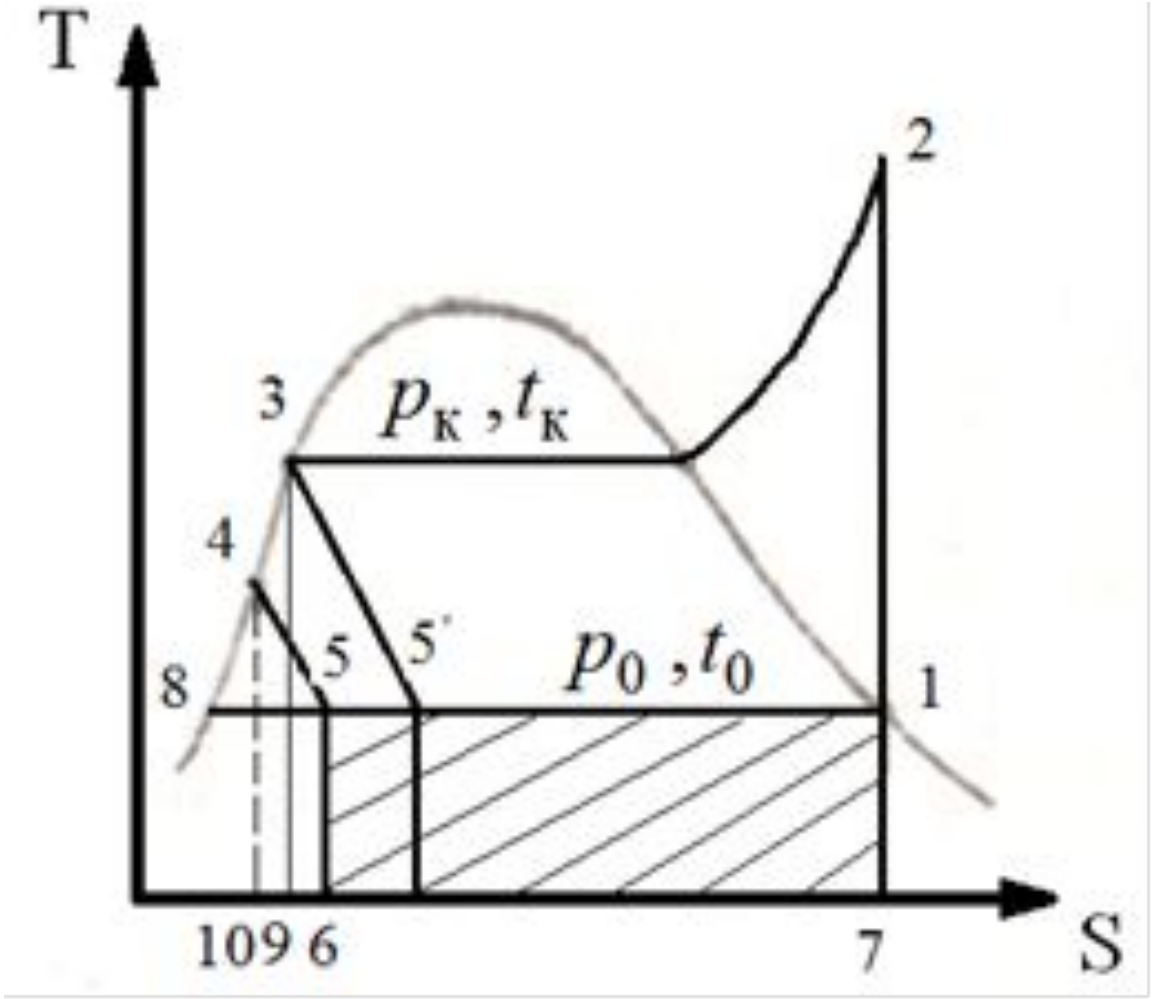
- В парокомпрессионных, абсорбционных и пароэжекторных холодильных машинах для получения эффекта охлаждения используют кипение низкокипящих жидкостей. В воздушно-расширительных холодильных машинах охлаждение достигается за счёт расширения сжатого воздуха в детандере.
- Парокомпрессионные холодильные машины - наиболее распространённые и универсальные холодильные машины.

- Основными элементами машин данного типа являются испаритель, компрессор, конденсатор и терморегулирующий (дроссельный) вентиль - ТРВ, которые соединены трубопроводом, снабженным запорной, регулирующей и предохранительной арматурой. Ко всем элементам холодильной машины предъявляется требование высокой герметичности.

- В парокомпрессионной холодильной машине осуществляется замкнутый цикл циркуляции хладагента. В испарителе хладагент кипит (испаряется) при пониженном давлении и низкой температуре. Необходимая для кипения теплота отнимается от охлаждаемого тела, вследствие чего его температура понижается (вплоть до температуры кипения хладагента). Образовавшийся пар отсасывается компрессором, сжимается в нём до давления конденсации и подаётся в конденсатор, где охлаждается водой или воздухом. Вследствие отвода теплоты от пара он конденсируется.

- Полученный жидкий хладагент через ТРВ, в котором происходит снижение его температуры и давления, возвращается в испаритель для повторного испарения, замыкая таким образом цикл работы машины. Для повышения экономической эффективности холодильной машины (снижения затрат энергии на единицу отнятого от охлаждаемого тела количества теплоты) иногда перегревают пар, всасываемый компрессором, и переохлаждают жидкость перед дросселированием. По этой же причине для получения температур ниже -30 ˚С используют многоступенчатые или каскадные холодильные машины.


компрессор
хладагент
(газ)
тепло
испаритель
тепло
холодильная
камера
конденсатор
дросселы
хладагент (жидкость)



- Цикл одноступенчатой парокомпрессионной установки

- Основными величинами, характеризующими работу установки, являются удельная массовая холодопроизводительность и холодильный коэффициент .

$$q_0 = h_1 - h_5, \text{кДж/кг}$$

$$\varepsilon = \frac{q_0}{l}$$

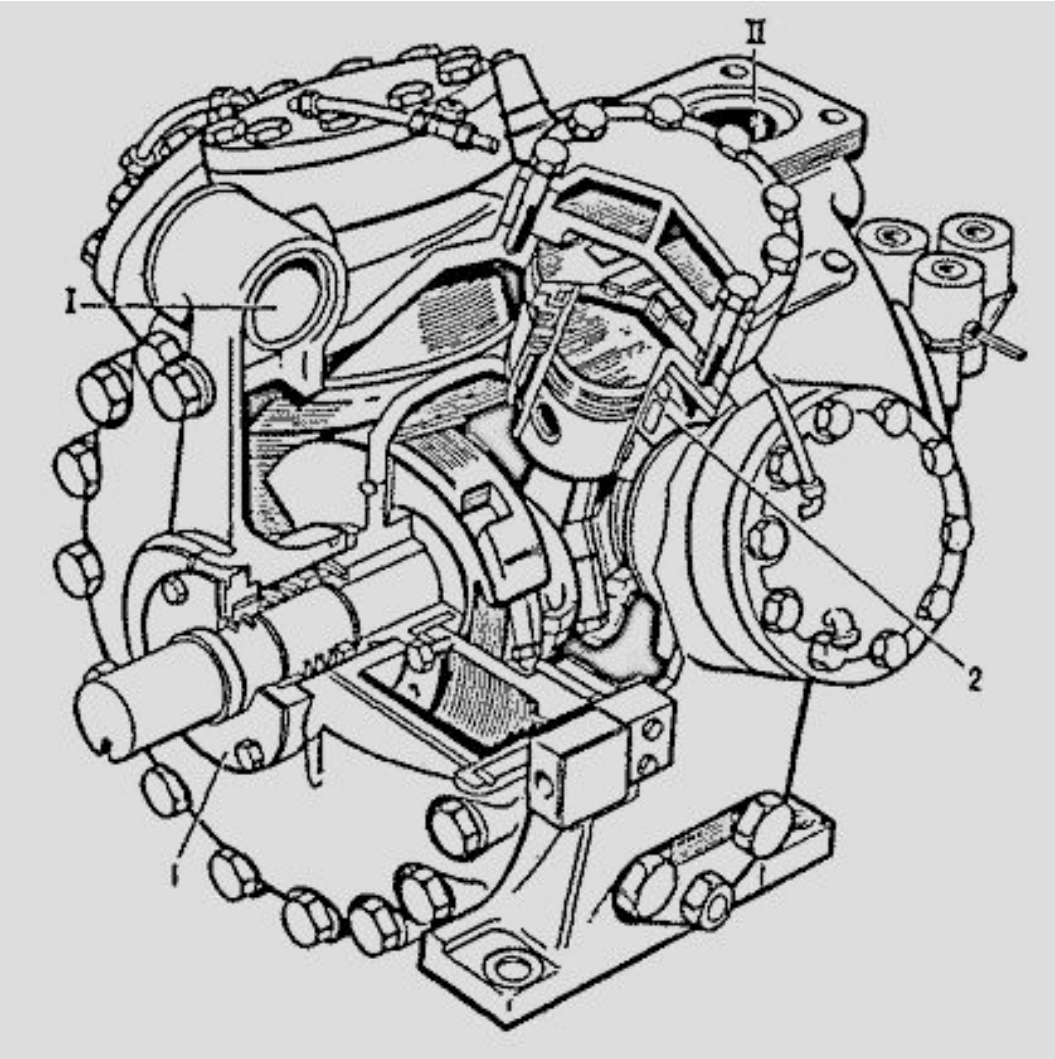
- где - удельная работа компрессора, .

$l_к = l_2 - h_1$

Элементы холодильной установки

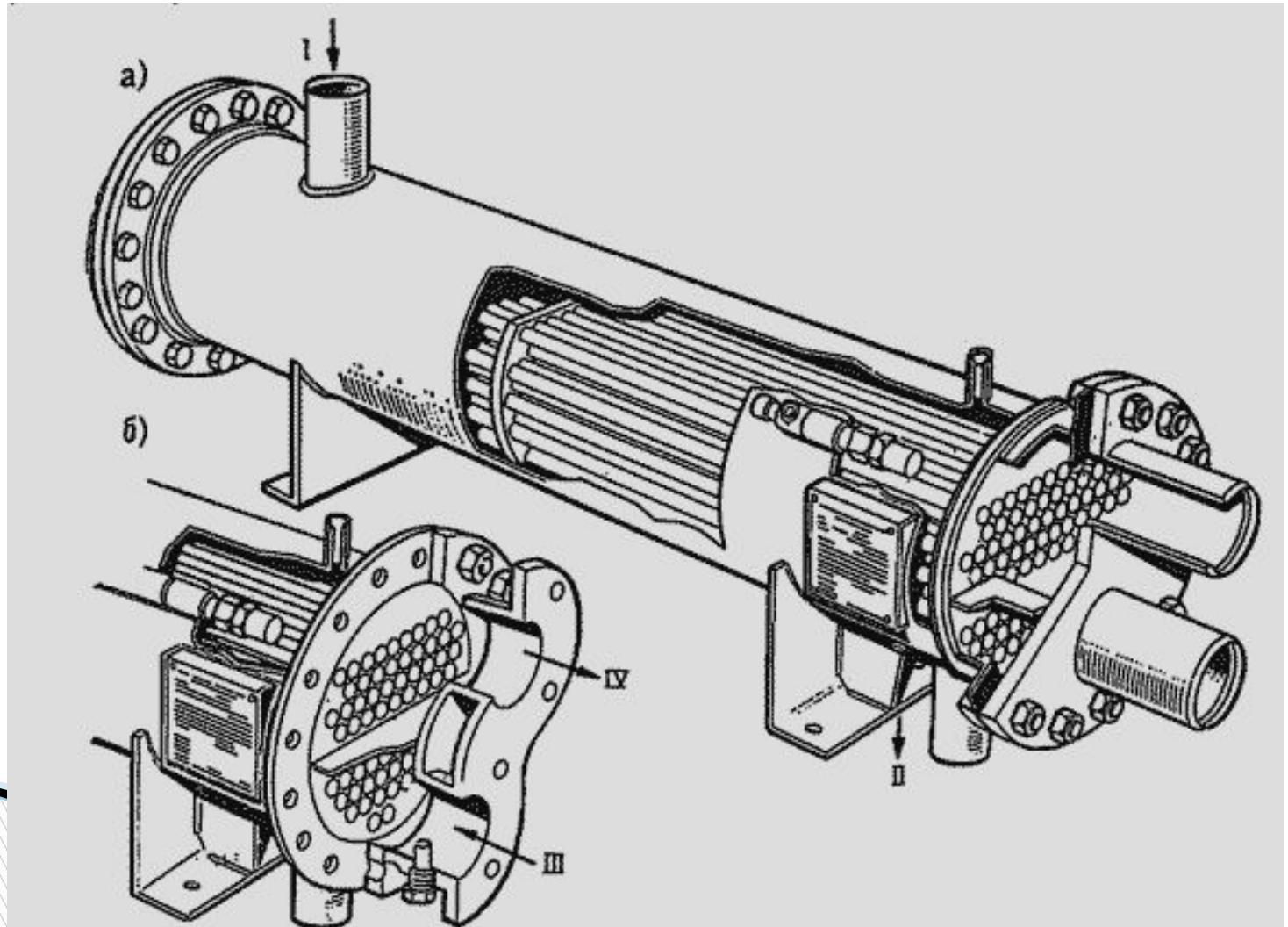
- **Компрессоры.** В холодильных промышленных установках применяются компрессоры трех типов: центробежные, винтовые и поршневые.
- Ввиду того что часть теплоты сжатия передается смазочному маслу, в состав агрегатов включают крупные маслоохладители, которые охлаждаются водой или хладоносителем.

Поршневой компрессор: 1 - сальник вала; 2 - разгрузочный механизм цилиндра; I - всасывание хладагента; II - нагнетание хладагента.



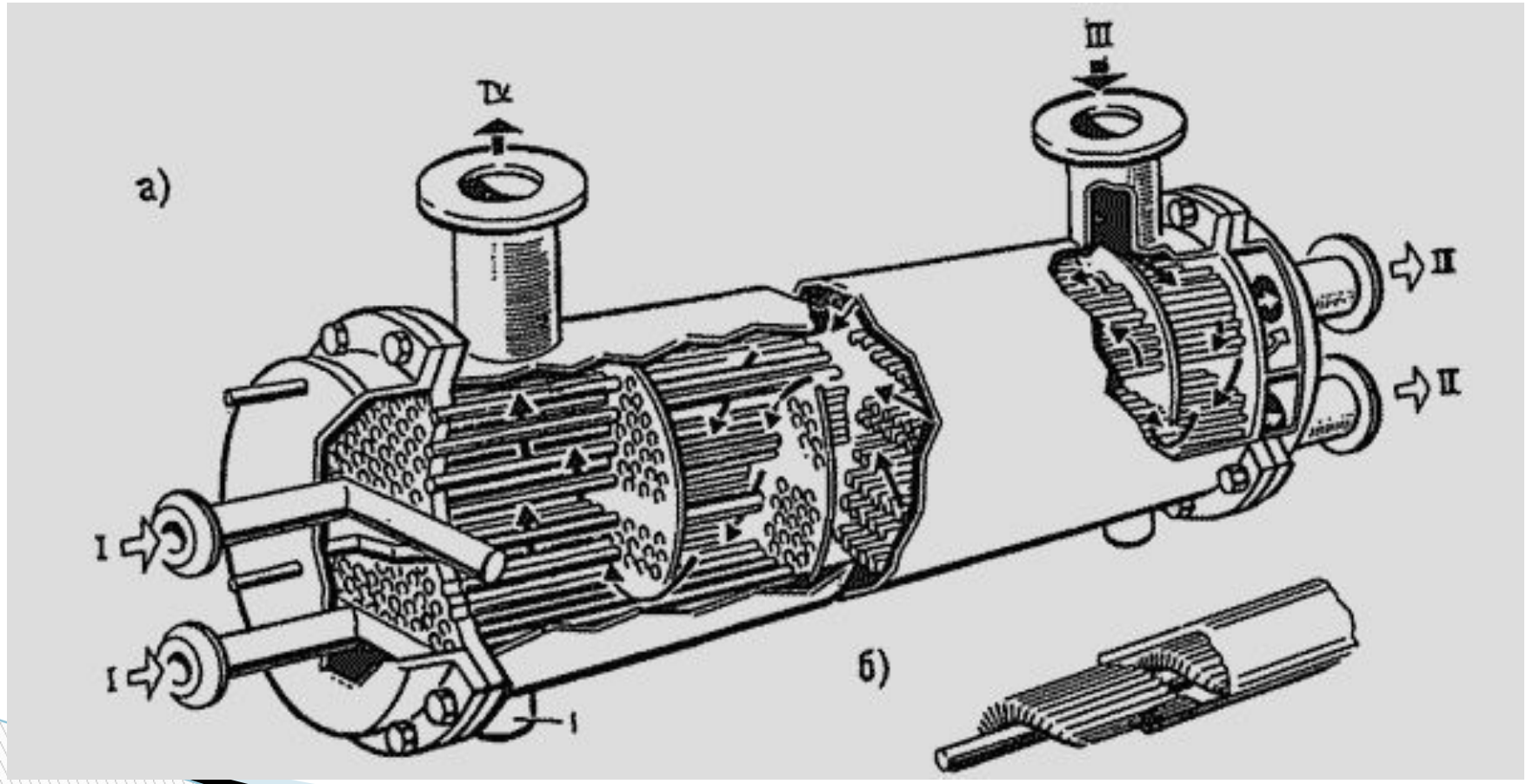
- **Конденсаторы.** Как отмечалось, большинство конденсаторов выполняются кожухотрубными и охлаждаются водой. Типичный современный конденсатор показан на рис. 2. Здесь видно, что холодильный агент проходит снаружи трубок, а охлаждающая вода движется внутри них.

Конденсатор: а - общий вид; б - разрез по крышке, применяемой в конденсаторах морского исполнения; I - вход пара холодильного агента, II - выход жидкого холодильного агента, III - вход охлаждающей воды, IV - выход охлаждающейводы.



- **Испарители.** Испарители делятся на два вида: испарители непосредственного охлаждения, в которых холодильный агент охлаждает непосредственно воздух, и кожухотрубные, в которых холодильный агент охлаждает хладоноситель.
- Простейшим испарителем непосредственного охлаждения является пучок трубок с увеличенной поверхностью благодаря их оребрению. Холодильный агент кипит в трубках и охлаждает воздух, который прогоняется снаружи вентилятором, обеспечивающим циркуляцию воздуха. Испарители такого типа могут быть установлены для охлаждения провизионных шкафов, в которых вентилятор и испаритель выполнены в едином агрегате, а также в системах непосредственного охлаждения рефрижераторных трюмов и систем кондиционирования воздуха, где вентилятор или вентиляторы могут быть установлены отдельно от испарителя.
- Более сложную конструкцию имеют кожухотрубные испарители, применяемые для охлаждения хладоносителя (рис. 3). Здесь холодильный агент проходит внутри трубок, а хладоноситель омывает ряды трубок снаружи.

Испаритель: а - общее устройство; б - разрез по внутренней оребренной трубе, I - вход холодильного агента, II - всасывание холодильного агента в компрессор, III - вход воды или рассола, IV - выход воды илирассола, 1 - дренажная труба со смотровым стеклом.

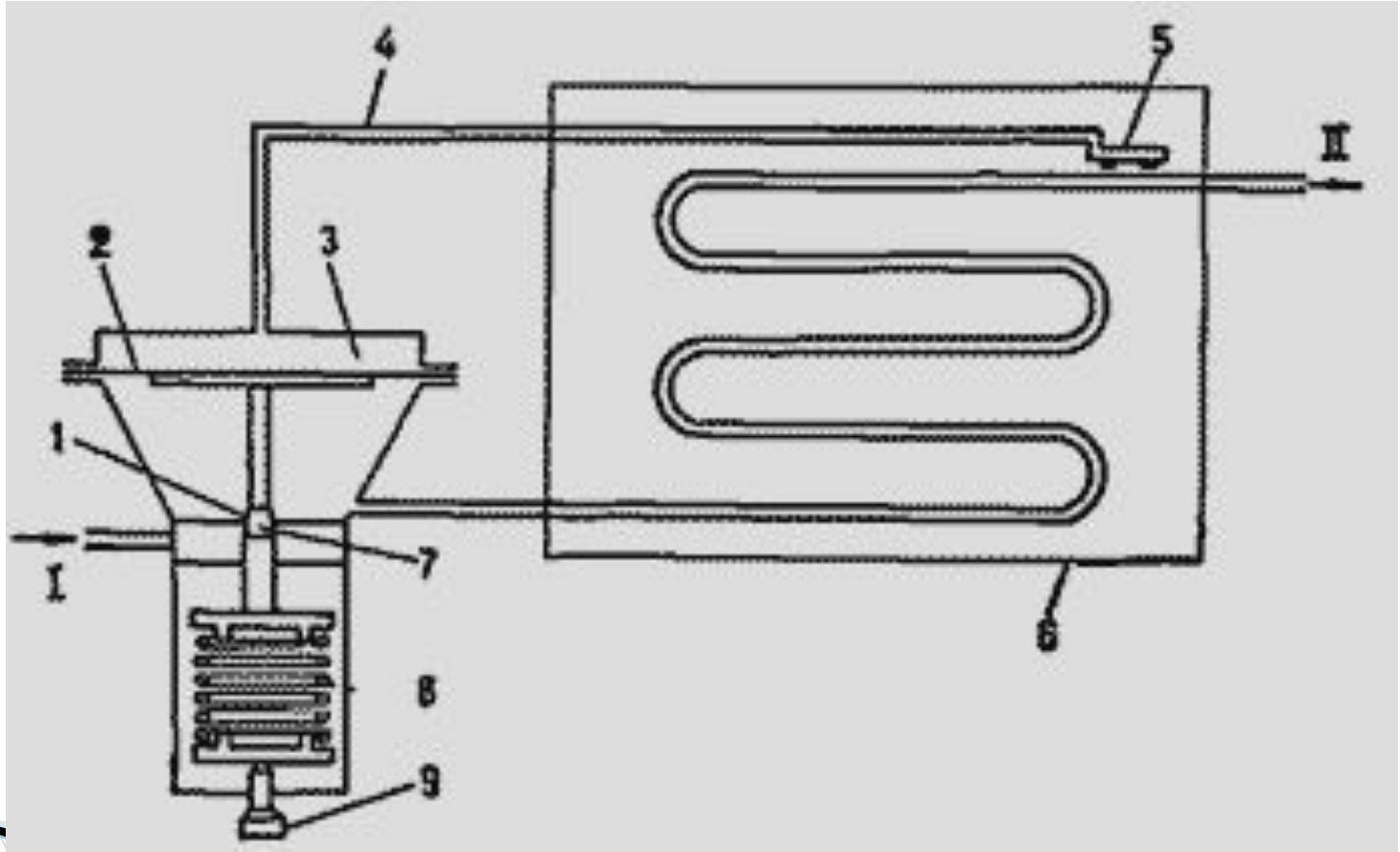


- Перед трубной доской холодильный агент разбрызгивается таким образом, чтобы гарантировалось равномерное распределение его по всем теплообменным трубкам. Попавшее в испаритель масло отводится через дренажную систему и поэтому в трубки не попадает.
- В испарителях рассматриваемого типа для улучшения теплопередачи имеются две конструктивные особенности: первая - теплообменные трубки со стороны холодильного агента имеют спиральное оребрение (как показано на рис. 3) или же вставку в виде алюминиевой звезды, имеющей спиральную форму; вторая - в корпусе испарителя имеются перегородки, обеспечивающие движение рассола поперек трубок.

- **Клапаны регулирования потока холодильного агента.** Обычно на жидкостной линии перед регулирующим вентилем устанавливают соленоидный вентиль. Им управляет термостат в зависимости от температуры воздуха в охлаждаемом помещении или температуры хладоносителя.
- Соленоидный вентиль используется также для отключения некоторой части контура в охладителе, когда машина работает в условиях частичной нагрузки.

- Регулирующий вентиль - это наиболее сложная часть устройства, которое регулирует поток холодильного агента из полостей высокого давления в полости низкого давления. Этот вентиль может быть выполнен как терморегулирующий (рис. 4). Термобаллон воспринимает температуру холодильного агента на выходе из испарителя, и соответственно при этом увеличивается или уменьшается открытие клапана.

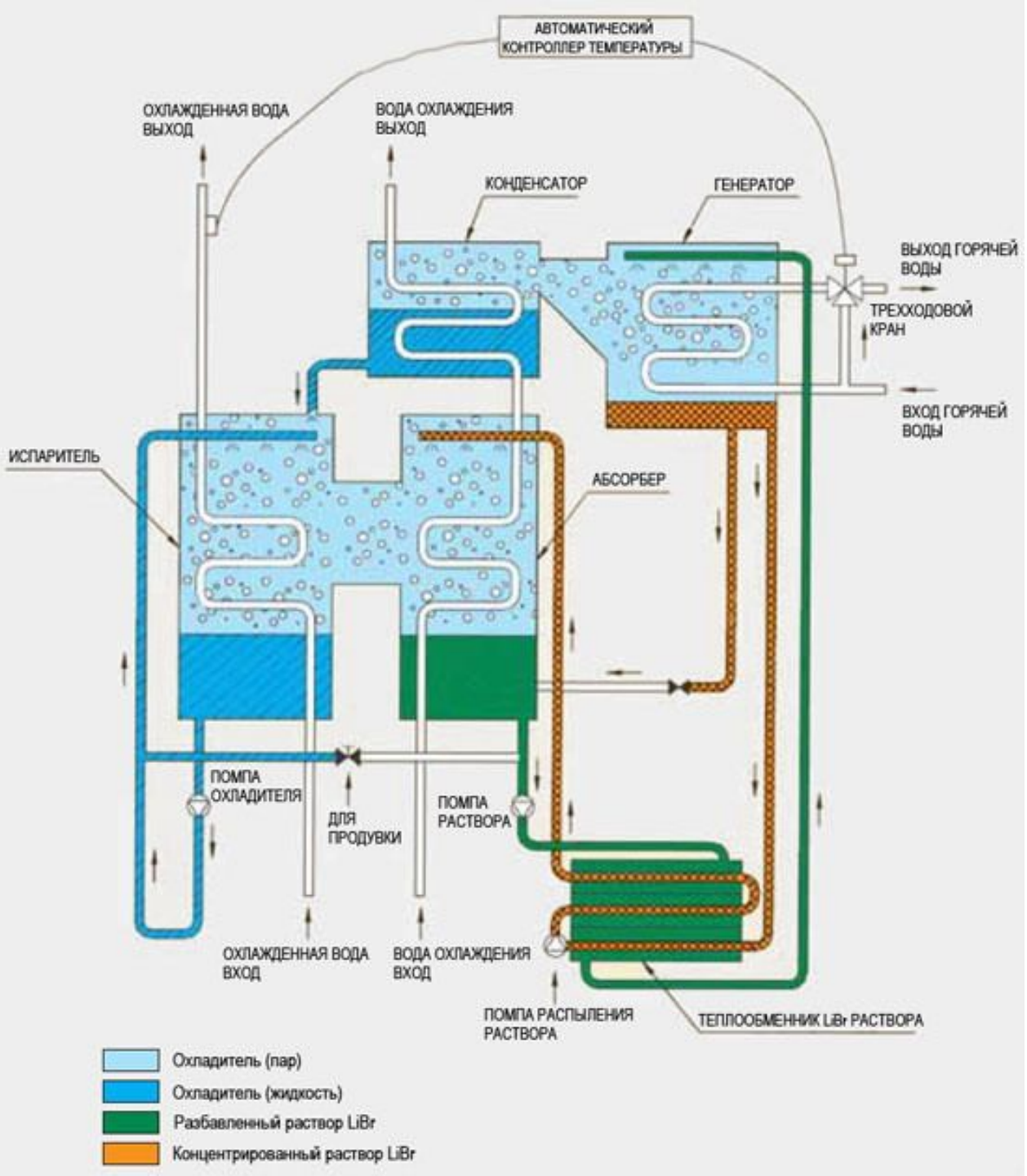
Терморегулирующий вентиль: 1 - отверстие, 2 - диафрагма, 3 - трубка и пространство, заполненные холодильным агентом, 4 - капиллярная трубка, 5 - чувствительный баллон, 6 - испаритель, 7 - клапан, 8 - пружина, 9 - регулировочный винт, I - жидкость из конденсатора, II - пар к компрессору



- **Вспомогательные устройства.** Маслоотделитель устанавливается на стороне нагнетания компрессора и является обязательной частью агрегатов с винтовыми компрессорами. Для других видов компрессоров маслоотделители могут устанавливаться или не устанавливаться в зависимости от взаимного расположения частей агрегата и длины трубопровода.
- Осушители холодильного агента обязательно используются во фреоновых установках для удаления влаги, оказавшейся в системе. В противном случае влага может замерзнуть в регулирующем вентиле и существенно нарушить работу установки.
- Жидкостный ресивер может включаться в состав установки по следующим соображениям: являясь дополнительной емкостью, он, во-первых, создает резерв холодильного агента в системе, необходимый для работы установки в различных режимах; во-вторых, обеспечивает хранение агента, когда необходимо откачать его из системы.
- В малых установках откачиваемый из системы холодильный агент обычно собирают в конденсатор.

Абсорбционные холодильные машины — АБХМ

- **П**ринцип действия **абсорбционных холодильных машин** — **АБХМ** основан на том, что вода в условиях вакуума испаряется при низких температурах, и при испарении уносит тепло от воздуха системы кондиционирования. В **абсорбционных холодильных машинах** — **АБХМ** — раствор бромистого лития (LiBr) — очень сильный абсорбент воды — поглощает пар (переносящий тепло охлаждающей воды), превращаясь в разбавленный раствор, который откачивается в генератор, где выпаривается, нагреваясь от горячего пара, воды, выхлопных газов и т.п. Концентрированный раствор LiBr возвращается в абсорбер, а водяной пар направляется в конденсатор, чтобы процесс повторился.


АВТОМАТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЛЕР ТЕМПЕРАТУРЫ
ОХЛАЖДЕННАЯ ВОДА ВЫХОД
ВОДА ОХЛАЖДЕНИЯ ВЫХОД
КОНДЕНСАТОР
ГЕНЕРАТОР
ВЫХОД ГОРЯЧЕЙ ВОДЫ
ТРЕХХОДОВОЙ КРАН
ВХОД ГОРЯЧЕЙ ВОДЫ
ИСПАРИТЕЛЬ
АБСОРБЕР
ПОМПА ОХЛАДИТЕЛЯ
ДЛЯ ПРОДУВКИ
ПОМПА РАСТВОРА
ОХЛАЖДЕННАЯ ВОДА ВХОД
ВОДА ОХЛАЖДЕНИЯ ВХОД
ПОМПА РАСПЫЛЕНИЯ РАСТВОРА
ТЕПЛООБМЕННИК LiBr РАСТВОРА
Охладитель (пар)
Охладитель (жидкость)
Разбавленный раствор LiBr
Концентрированный раствор LiBr

Типы тепловых насосов

- Источники отбора тепла определяют разновидности данных изделий. В зависимости от них выделяют:
- геотермальные тепловые насосы – для их работы применяется тепло почвы, а также воды, которая течет на поверхности земли или в ее недрах; при этом, они могут быть замкнутого (горизонтальные, вертикальные, водные, с прямым теплообменом) и открытого типа;
- воздушные – такие устройства забирают тепло при помощи воздуха;
- приборы, которые используют вторичное тепло (допустим, то, которое выделяется от трубопроводов центрального отопления).

- По виду теплоносителя входного/выходного контура:
- ***Тепловые насосы «воздух-воздух»***. Этот вид тепловых насосов забирает тепло у более холодного воздуха, еще больше понижая его температуру, и отдает его в отапливаемое помещение.
- ***Тепловые насосы «вода-вода»***. Используется тепло грунтовых вод, которое передается воде для отопления и горячего водоснабжения.
- ***Тепловые насосы «вода-воздух»***. Используются зонды или скважины для воды и воздушная система отопления.
- ***Тепловые насосы «воздух-вода»***. Атмосферное тепло используется для водяного отопления.
- ***Тепловые насосы «грунт-вода»***. Трубы прокладываются под землей, и по ним циркулирует вода, забирающая тепло из грунта.
- ***Тепловые насосы «лед-вода»***. Для нагревания воды в системе отопления и горячего водоснабжения используется тепловая энергия, которая высвобождается при получении льда. Замораживание 100-200 л воды способно обеспечить обогрев среднего дома в течение часа.

Воздушный ТН

Грунтовой ТН

Интересно

- Объем международного рынка тепловых насосов трое кратно превышает рынок вооружений и составляет $125 млрд. По прогнозам Мирового энергетического совета (World Energy Council – WEC), к 2020 году 3/4 совокупного теплоснабжения в мире будет обеспечи ваться тепловыми насосами различных типов. Страны Скандинавии уже сейчас выходят на эти прогнозные данные. В США федеральным законодательством за креплено обеспечение всех новых общественных зда ний исключительно тепловыми насосами, а прави тельство Германии датирует каждый киловатт устанав ливаемой мощности теплонасосных систем в размере €200. Как видно из приведенных цифр, рынок тепло вых насосов переживает настоящий бум.