


Тема №7 Циклы холодильных установок и теплового насоса


Для понижения температуры тел ниже температуры окружающей среды и поддержания заданной температуры применяются холодильные установки.

Теплота, отводимая от охлаждаемого тела, воспринимается рабочим телом, называемым *холодильным агентом (хладагентом)*, и передаётся окружающей среде.



Искусственный холод находит широкое применение в сельском хозяйстве и пищевой промышленности, где охлаждение является средством сохранения продуктов.

Установки для кондиционирования воздуха создают благоприятную температуру и влажность воздуха в производственных и бытовых помещениях.




Производство искусственного холода основано на совершении рабочим телом (холодильным агентом) обратного цикла, наиболее совершенным типом которого является обратимый обратный цикл Карно.



Холодильные установки делятся на две основные группы:

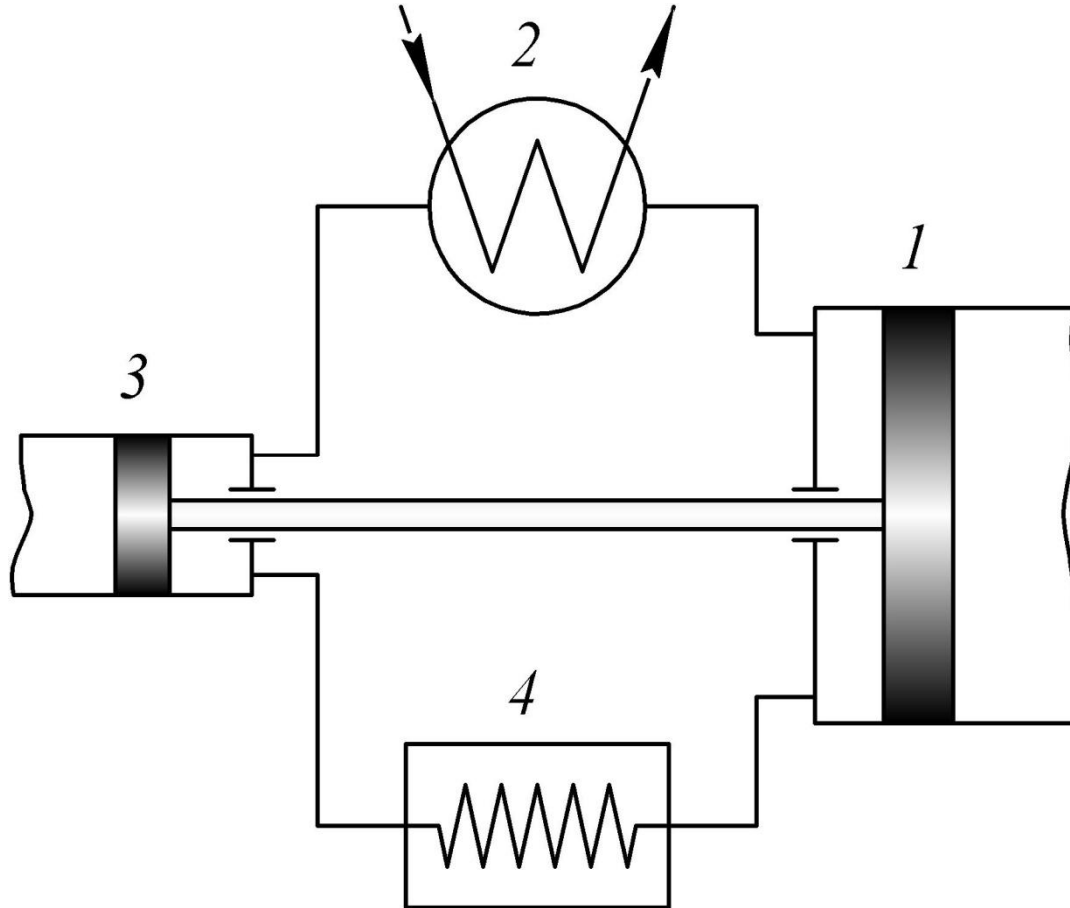
1) газовые (воздушные) холодильные установки, в которых хладагент находится в состоянии, далеком от насыщения;

2) паровые холодильные установки, в которых в качестве хладагентов используются пары различных веществ.



Паровые холодильные установки
подразделяются на парокompрессорные,
пароэжекторные и абсорбционные.

Вопрос №1 Цикл воздушной холодильной установки




1 – компрессор, 2 – теплообменник, 3 – детандер, 4 – холодильная камера.



Воздушная холодильная установка работает следующим образом.

Воздух сжимается в компрессоре 1, в результате чего его температура увеличивается.

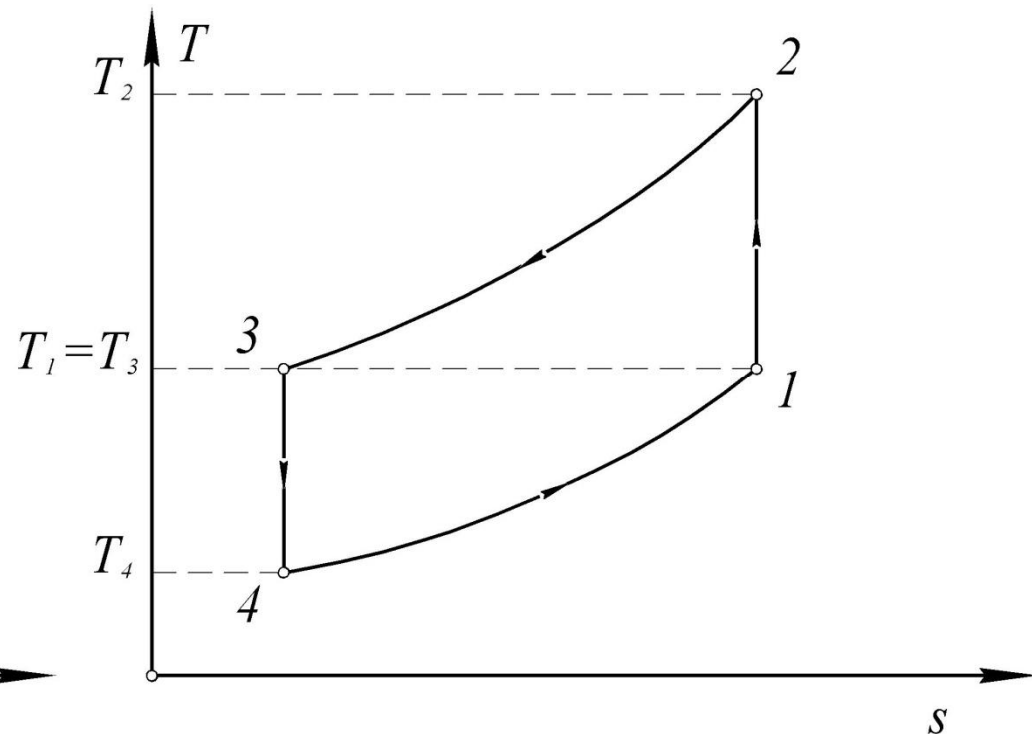
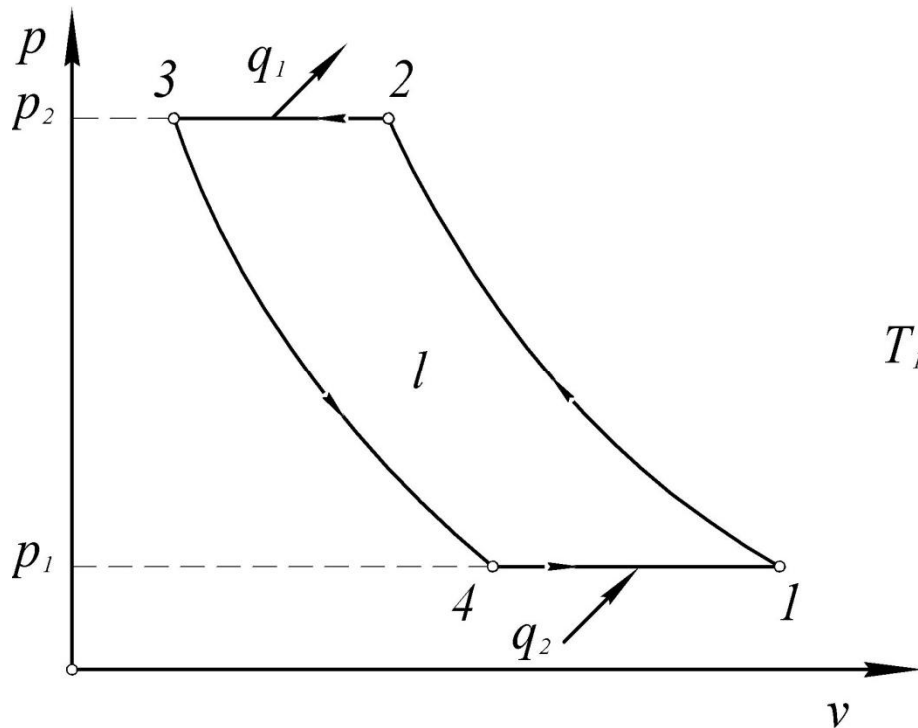
Сжатый воздух при постоянном давлении нагнетается в теплообменник 2, в котором он охлаждается до температуры окружающей среды.



Из теплообменника сжатый воздух поступает в детандер 3, где он адиабатно расширяется до первоначального давления, в результате чего температура воздуха снижается до $-60\dots-70^{\circ}\text{C}$.

Холодный воздух поступает в холодильную камеру 4, где он отбирает теплоту от охлаждаемых продуктов и снова поступает в компрессор, после чего цикл повторяется.

Цикл воздушной холодильной установки в $p\nu$ - и Ts -координатах.




В процессе $1-2$ воздух адиабатно сжимается от p_1 до p_2 , температура его возрастает от T_1 до T_2 .

В процессе $2-3$ отводится теплота q_1 и температура воздуха понижается от T_2 до T_3 .

В процессе $3-4$ воздух адиабатно охлаждается от T_3 до T_4 .

В процессе $4-1$ воздух отбирает теплоту q_2 и нагревается от T_4 до T_1 .




Цикл воздушной холодильной установки является термодинамически несовершенным, поэтому такие холодильные установки не нашли широкого применения.

Вопрос №2 Цикл паровой компрессорной холодильной установки

Цикл паровой компрессорной холодильной установки состоит из четырёх основных процессов: сжатие, конденсация, расширение и испарение.

В паровых компрессорных холодильных установках в качестве рабочего тела (хладагента) применяются жидкости, имеющие низкие температуры кипения при давлениях, близких к атмосферному.

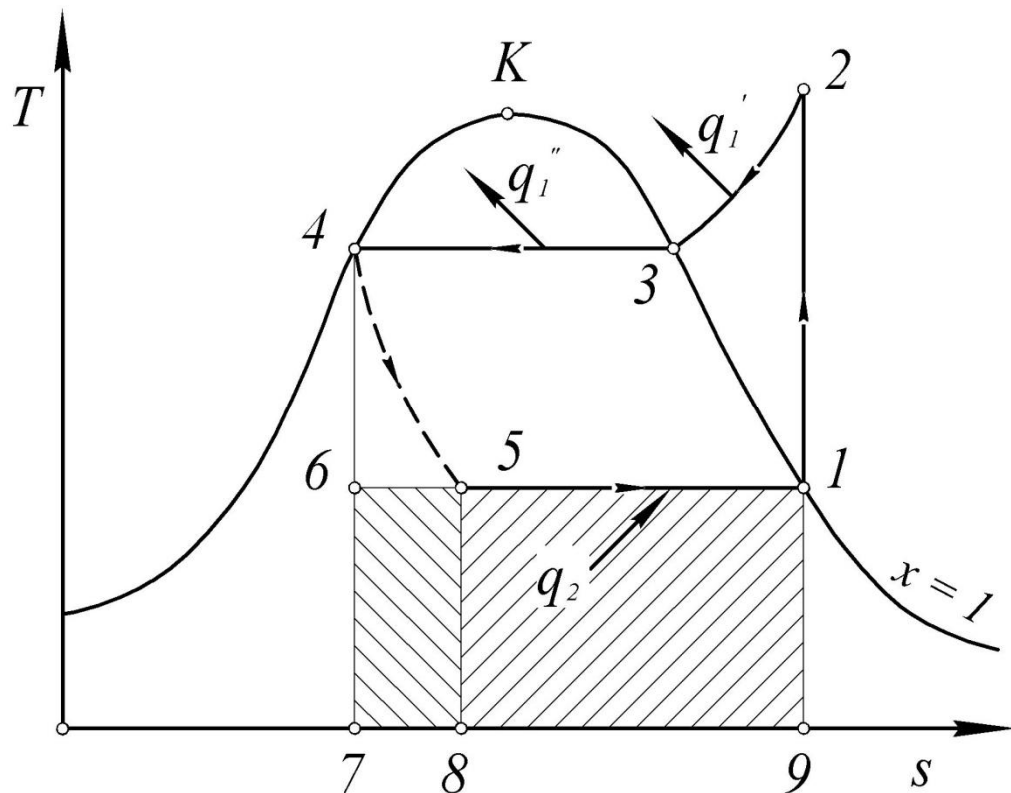
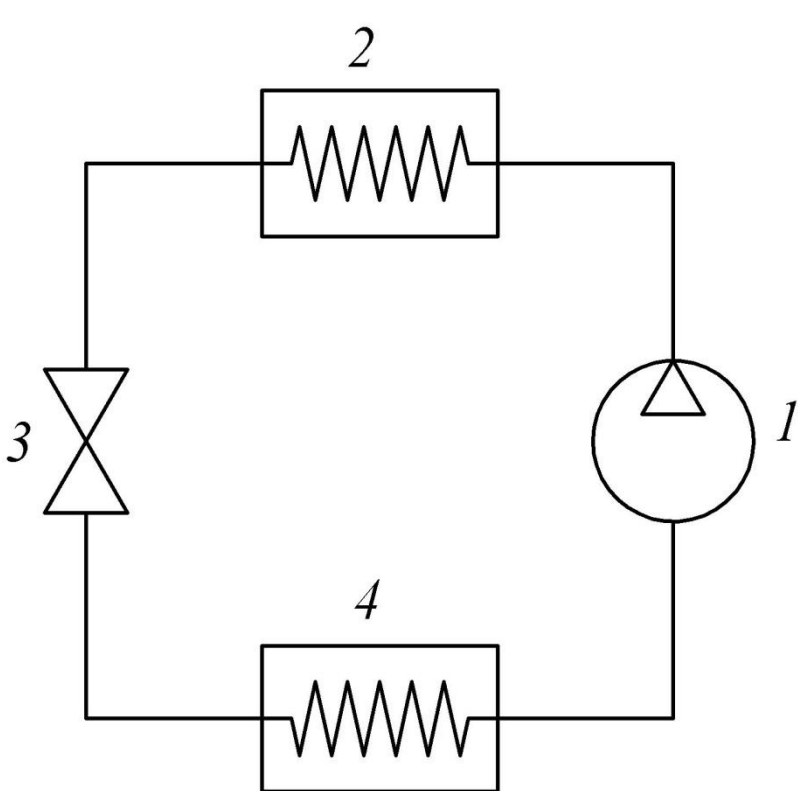


Для обозначения марки хладагента используют букву «R» (Refrigerant, хладагент) и комбинацию цифр и букв, определяющих молекулярную структуру холодильного агента, например, R22, R125, R410A и др.

Температуры кипения некоторых хладагентов при атмосферном давлении

Марка хладагента, условное обозначение по Международному стандарту	Химическая формула (состав)	Температура кипения, °С
Диоксид серы (сернистый ангидрид), R764	SO ₂	– 10,1
Аммиак, R717	NH ₃	– 33,4
Диоксид углерода (углекислый газ), R744	CO ₂	– 56,6
Фреоны: R22	CHClF ₂	– 40,9
R134A	CF ₃ CFH ₂	– 26,3
R407C	Смесь R32 (23 %), R125 (25 %), R134A (52 %)	– 44,0
R410A	Смесь R32(50 %), R125 (50 %)	– 51,5


Схема паровой компрессорной холодильной установки и её рабочий цикл в Ts -координатах



1 – компрессор, 2 – конденсатор, 3 – дроссель, 4 – испаритель.


Сухой насыщенный пар хладагента адиабатно сжимается в компрессоре 1 до состояния перегретого пара со степенью перегрева $130\dots 140^\circ\text{C}$ (процесс $1-2$).

Из компрессора перегретый пар поступает в конденсатор 2 , где от него отводится сначала теплота перегрева q_1' (процесс $2-3$), а затем теплота парообразования q_1'' (процесс $3-4$), в результате чего в точке 4 пар превращается в кипящую жидкость.



Далее жидкость проходит через дроссель 3 и превращается во влажный насыщенный пар со степенью сухости $x = 0,1 \dots 0,3$ (процесс 4–5).

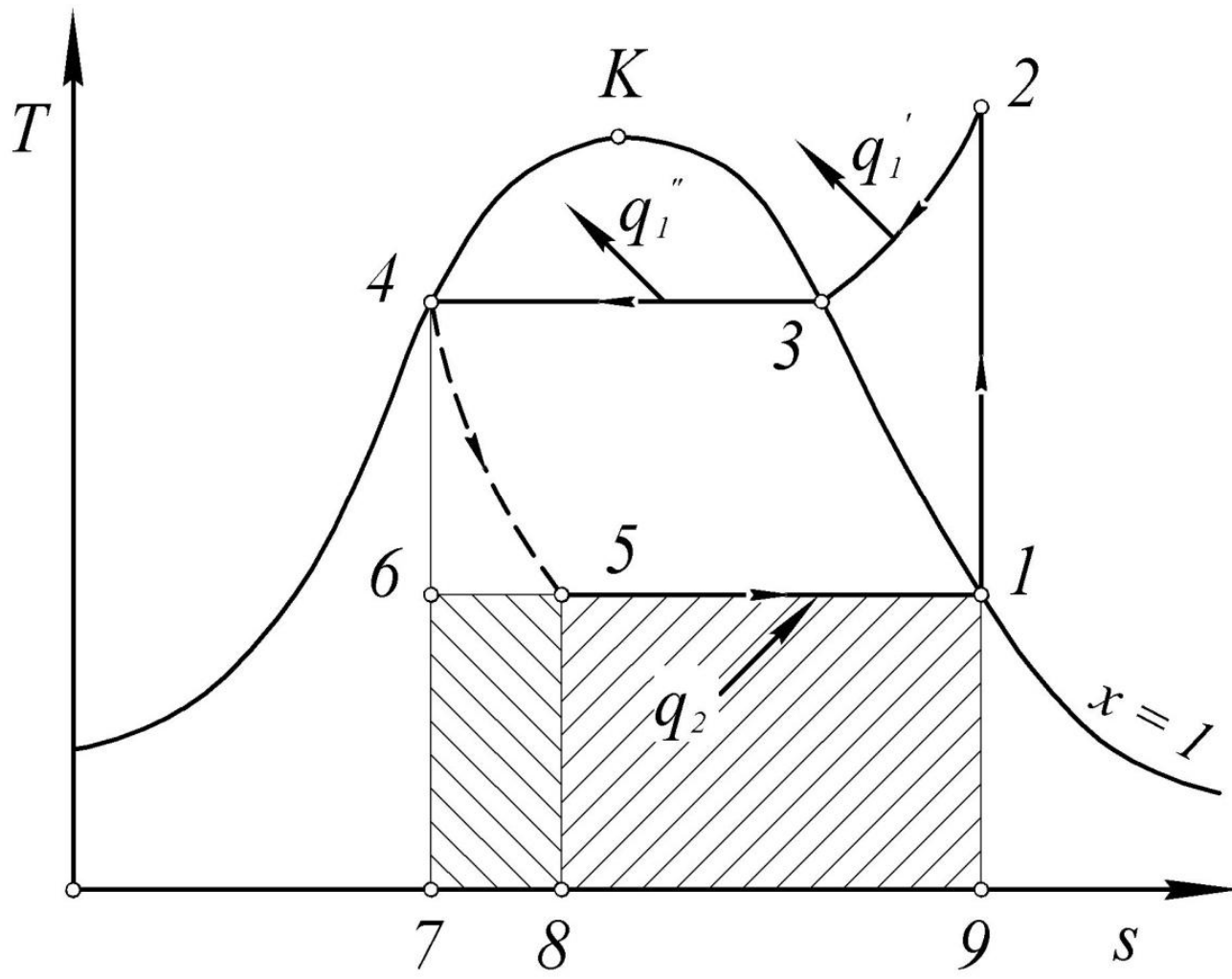
Влажный насыщенный пар поступает в испаритель 4, где под действием теплоты q_2 , отбираемой от охлаждаемых продуктов, влажный насыщенный пар превращается в сухой насыщенный (процесс 5–1).




В точке 1 сухой насыщенный пар поступает в компрессор и весь цикл повторяется.

Количество теплоты q_2 , отбираемой 1 кг хладагента в испарителе, называется удельной холодопроизводительностью или *холодильным эффектом* установки.

Из Ts -диаграммы видно, что количество теплоты q_2 , отбираемой хладагентом в испарителе, равно площади 1589 под линией процесса $5-1$.





Показателем эффективности холодильных установок служит холодильный коэффициент ε


$$\varepsilon = \frac{q_2}{l}.$$

Чем выше холодильный коэффициент, тем экономичнее установка.


Вопрос №3 Цикл абсорбционной холодильной установки

Основным преимуществом абсорбционных холодильных установок по сравнению с паровыми компрессорными является использование для получения холода не электрической, а тепловой энергии.

Работа абсорбционных холодильных установок основана на использовании явления абсорбции пара жидкостью.




Абсорбция – поглощение газов и паров жидкостью, происходящее во всём её объёме, с образованием раствора.



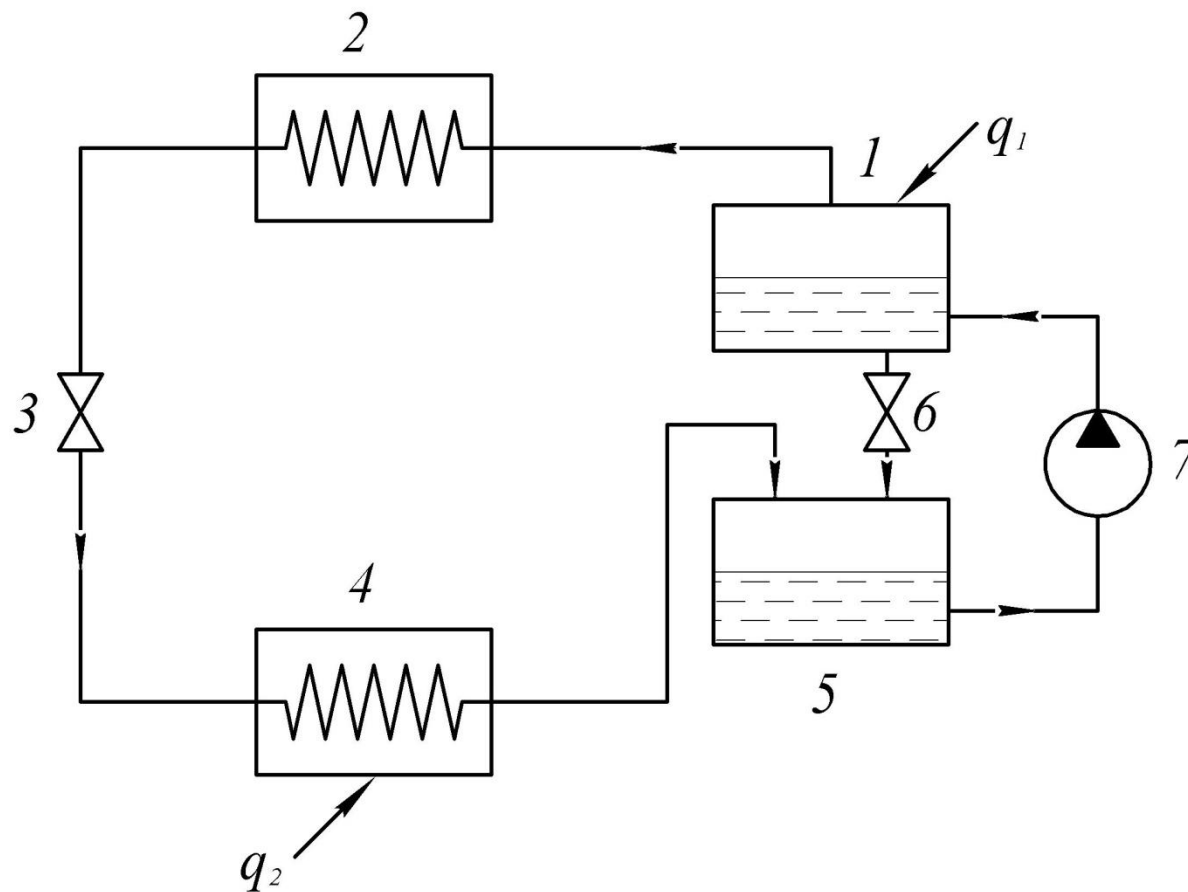
Для абсорбционной холодильной установки подбираются две жидкости, имеющие разные температуры кипения и полностью взаиморастворимые.

Широкое распространение получили водоаммиачные холодильные установки, в которых хладагентом является аммиак, а абсорбентом – вода.




При температуре 0°C в одном объёме воды растворяется 1200 объёмов аммиака, при этом выделяется теплота – 1220 кДж/кг.

Схема абсорбционной холодильной установки




1 – парогенератор, 2 – конденсатор, 3 – дроссель, 4 – испаритель, 5 – абсорбер, 6 – перепускной клапан, 7 – насос.




В парогенераторе 1 под действием подводимой теплоты q_1 из насыщенного раствора аммиака в воде выпаривается сухой насыщенный пар аммиака ($x = 1$).

В конденсаторе 2 аммиак конденсируется при постоянном давлении, отдавая теплоту парообразования охлаждающей воде, и превращается в жидкость ($x = 0$).




Жидкий аммиак проходит через дроссель 3, в результате чего давление падает и жидкость превращается во влажный насыщенный пар аммиака ($x = 0,2 \dots 0,3$).

Влажный насыщенный пар аммиака поступает в испаритель 4, где под действием теплоты q_2 , отбираемой от охлаждаемых продуктов, влажный насыщенный пар превращается в сухой насыщенный ($x = 1$).



Сухой насыщенный пар аммиака поступает в абсорбер 5, куда одновременно через перепускной клапан 6 из парогенератора 1 подаётся слабый раствор аммиака в воде.

Слабый раствор абсорбирует сухой насыщенный пар аммиака и становится насыщенным, а выделяющаяся при этом теплота абсорбции отводится охлаждающей водой.




С помощью насоса 7 насыщенный раствор аммиака перекачивается в парогенератор 1 и весь цикл повторяется.

Эффективность абсорбционной холодильной установки оценивается холодильным коэффициентом ε

$$\varepsilon = \frac{q_2}{q_1}.$$

Вопрос №4 Цикл теплового насоса


Тепловой насос — это холодильная установка, отбирающая теплоту низкого потенциала из окружающей среды и, за счёт затраченной работы, отдающая потребителю теплоту высокого потенциала.



В зависимости от источника теплоты низкого потенциала тепловые насосы подразделяются на:

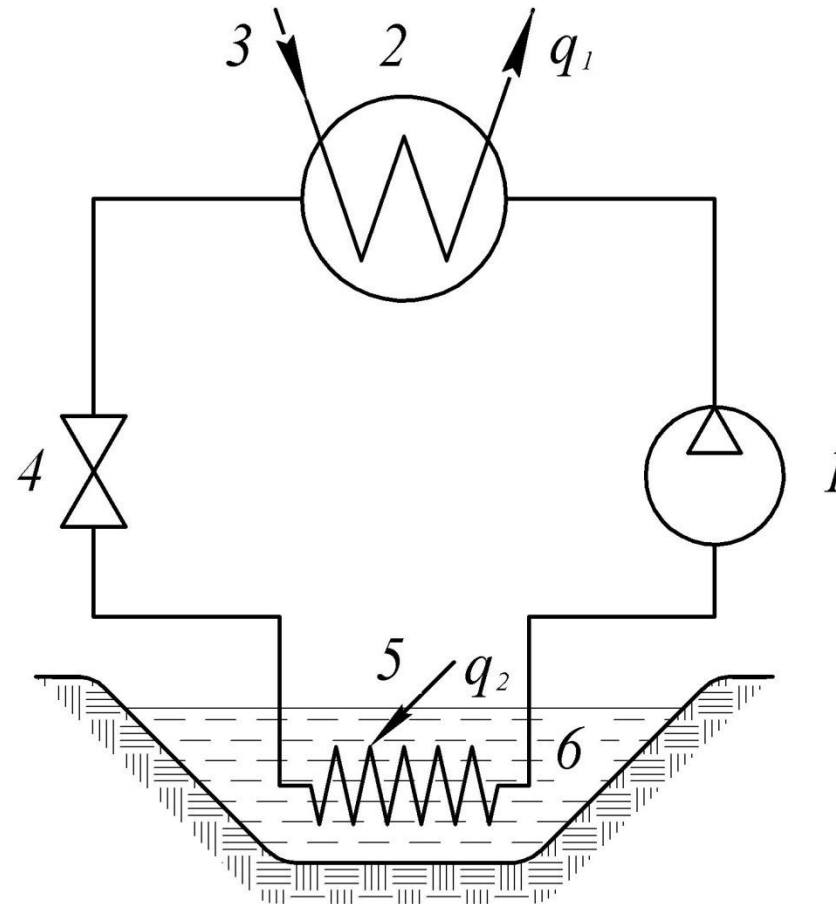
1) *геотермальные*, которые используют теплоту земли, наземных водоёмов или подземных грунтовых вод;

2) *воздушные* — отбирают теплоту окружающего воздуха;




3) *использующие низкопотенциальную теплоту искусственного происхождения* (сбросные воды, продукты технологических процессов, вытяжной воздух систем вентиляции и др.).

Схема теплового насоса




1 – компрессор, *2* – конденсатор, *3* – трубопровод,
4 – дроссель, *5* – испаритель, *6* – водоём.



Сухой насыщенный пар хладагента адиабатно сжимается в компрессоре 1 до состояния перегретого пара.

Из компрессора перегретый пар поступает в конденсатор 2 , где при конденсации отдаёт теплоту q_1 воде, циркулирующей в системе отопления по трубопроводу 3 , и превращается в жидкость.



Далее эта жидкость подаётся к дросселю 4, пройдя через который она превращается во влажный насыщенный пар со степенью сухости $x = 0,1 \dots 0,3$.


Влажный насыщенный пар поступает в испаритель 5, где под действием теплоты q_2 , отбираемой от воды в водоёме 6, влажный насыщенный пар превращается в сухой насыщенный.



Сухой насыщенный пар поступает в компрессор l и цикл повторяется.

Эффективность работы теплового насоса оценивается *коэффициентом преобразования теплоты ψ*

$$\psi = \frac{q_1}{l}.$$



Связь между коэффициентом преобразования теплоты ψ и холодильным коэффициентом ε

$$\psi = \frac{q_1}{l}$$

Связь между коэффициентом преобразования теплоты ψ и холодильным коэффициентом ε

$$\psi = \frac{q_1}{l} = \frac{q_2 + l}{l}$$


Связь между коэффициентом преобразования теплоты ψ и холодильным коэффициентом ε

$$\psi = \frac{q_1}{l} = \frac{q_2 + l}{l} = \frac{q_2}{l} + 1$$

Связь между коэффициентом преобразования теплоты ψ и холодильным коэффициентом ε

$$\psi = \frac{q_1}{l} = \frac{q_2 + l}{l} = \frac{q_2}{l} + 1 = \varepsilon + 1.$$

Т.е. отопительный коэффициент всегда на единицу больше холодильного коэффициента для той же установки.



Если бы тепловой насос работал по обратному циклу Карно, то отопительный коэффициент был бы равен

$$\psi = \frac{q_1}{l}$$

Если бы тепловой насос работал по обратному циклу Карно, то отопительный коэффициент был бы равен

$$\psi = \frac{q_1}{l} = \frac{q_1}{q_1 - q_2}$$

Если бы тепловой насос работал по обратному циклу Карно, то отопительный коэффициент был бы равен

$$\psi = \frac{q_1}{l} = \frac{q_1}{q_1 - q_2} = \frac{T_1}{T_1 - T_2}.$$

Например, будем считать, что температура речной воды, равна $t_2 = 7^\circ \text{C}$ ($T_2 = 280 \text{ K}$), а температура воды в системе отопления – $t_1 = 77^\circ \text{C}$ ($T_1 = 350 \text{ K}$).

$$\psi = \frac{T_1}{T_1 - T_2}$$

Например, будем считать, что температура речной воды, равна $t_2 = 7^\circ \text{C}$ ($T_2 = 280 \text{ K}$), а температура воды в системе отопления – $t_1 = 77^\circ \text{C}$ ($T_1 = 350 \text{ K}$).

$$\psi = \frac{T_1}{T_1 - T_2} = \frac{350}{350 - 280}$$

Например, будем считать, что температура речной воды, равна $t_2 = 7^\circ \text{C}$ ($T_2 = 280 \text{ K}$), а температура воды в системе отопления – $t_1 = 77^\circ \text{C}$ ($T_1 = 350 \text{ K}$).

$$\psi = \frac{T_1}{T_1 - T_2} = \frac{350}{350 - 280} = 5.$$



Из выражения

$$\psi = \frac{q_1}{l}$$

получим

$$q_1 = \psi l$$




Из выражения

$$\psi = \frac{q_1}{l}$$

получим


$$q_1 = \psi l = 5l.$$

Тепловой насос передаёт в систему отопления теплоты в пять раз больше, чем затрачивается работы на привод компрессора.




Затратив на работу теплового насоса 1 кВт электроэнергии, в системе отопления мы получим 5 кВт тепловой энергии.

При использовании для отопления электрокалорифера мощностью 1 кВт мы получим всего 1 кВт тепловой энергии.

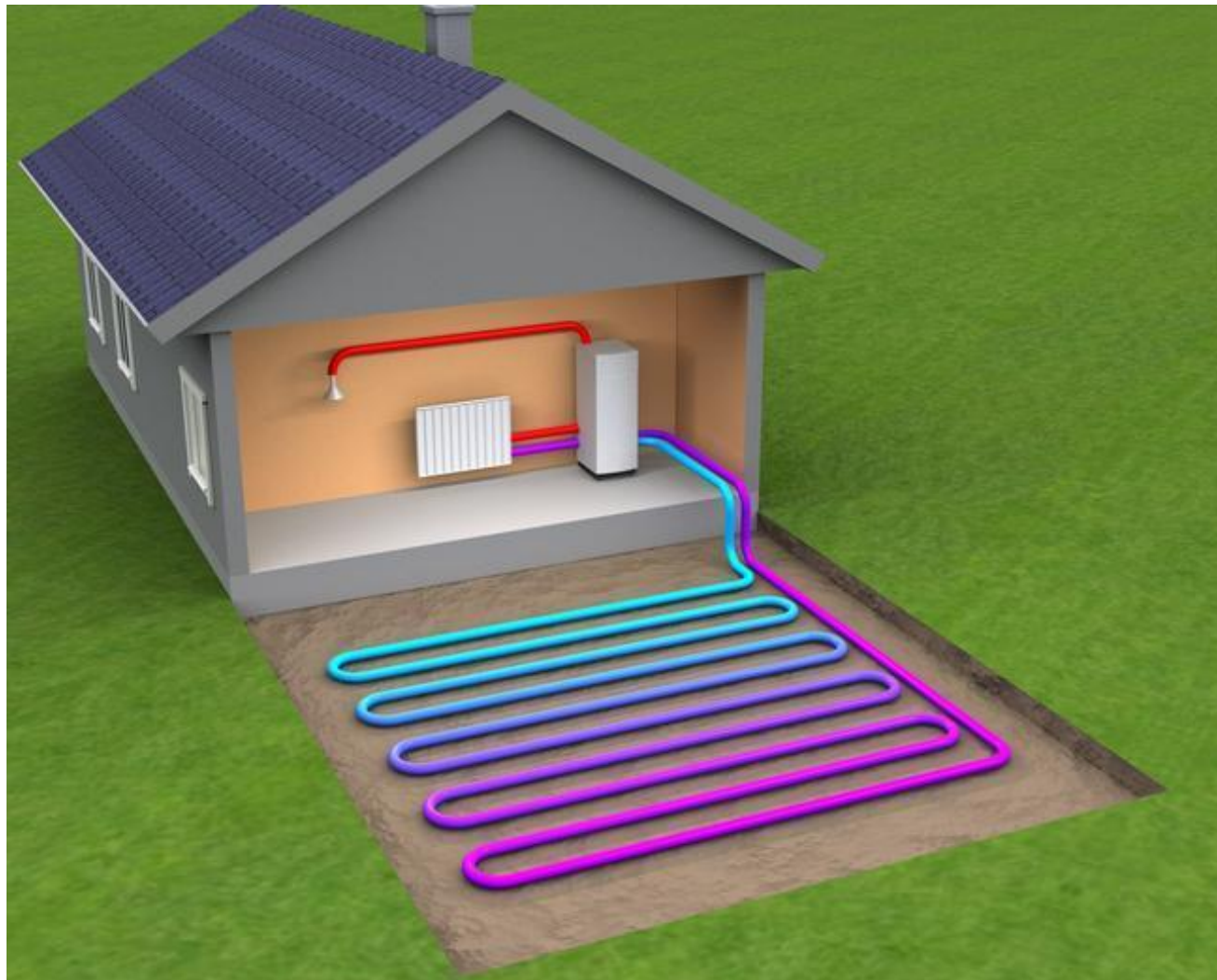


Цикл паровой компрессорной холодильной установки, по которому работает тепловой насос, менее совершенен по сравнению с обратным циклом Карно, поэтому для реальных тепловых насосов значения отопительного коэффициента находятся в пределах $\psi = 3 \dots 5$.



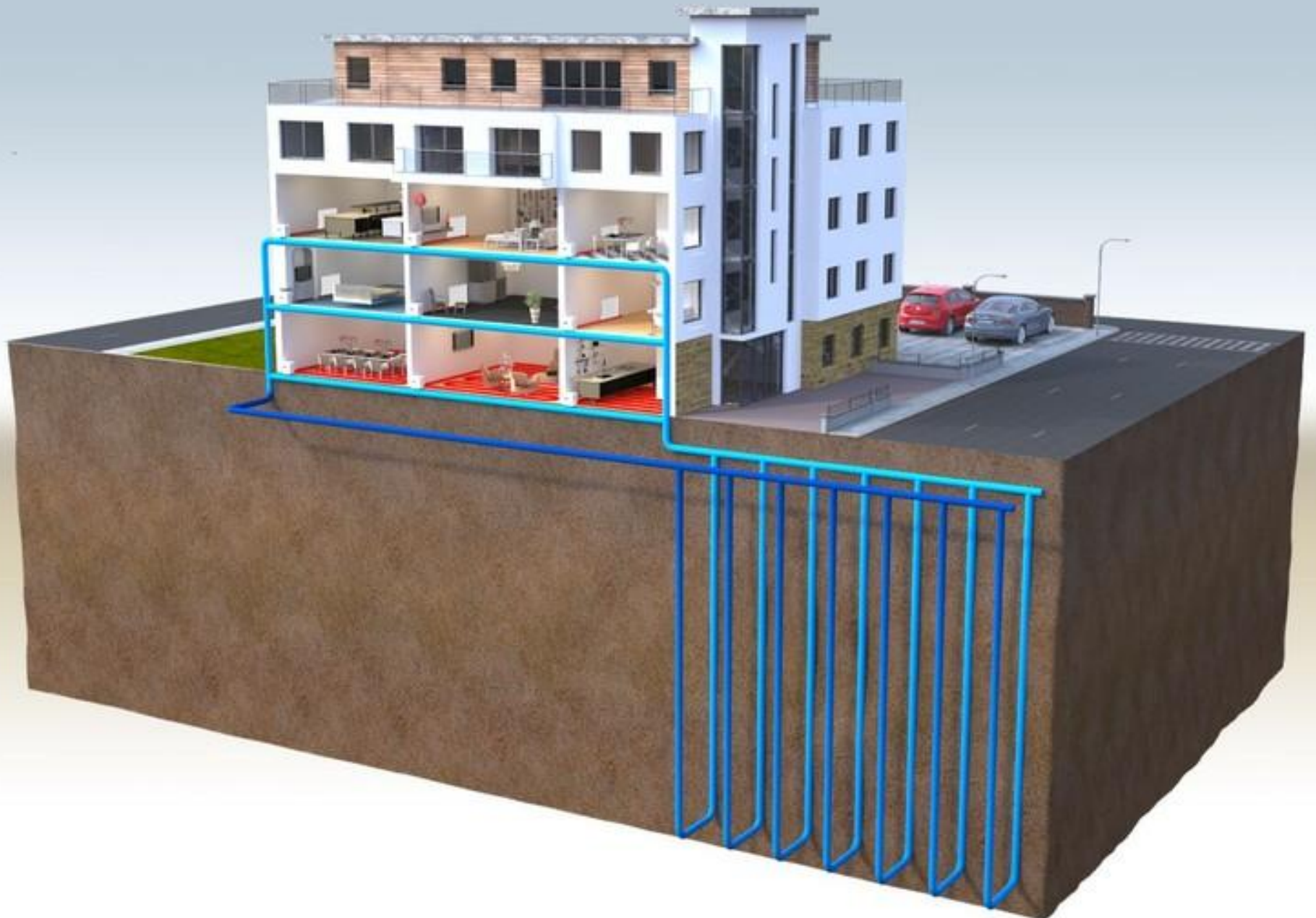
Учитывая, что до 80 % тепловой энергии получается, практически, бесплатно, тепловые насосы в последнее время все шире используются для отопления помещений.

Тепловой насос грунт-вода с горизонтальным коллектором

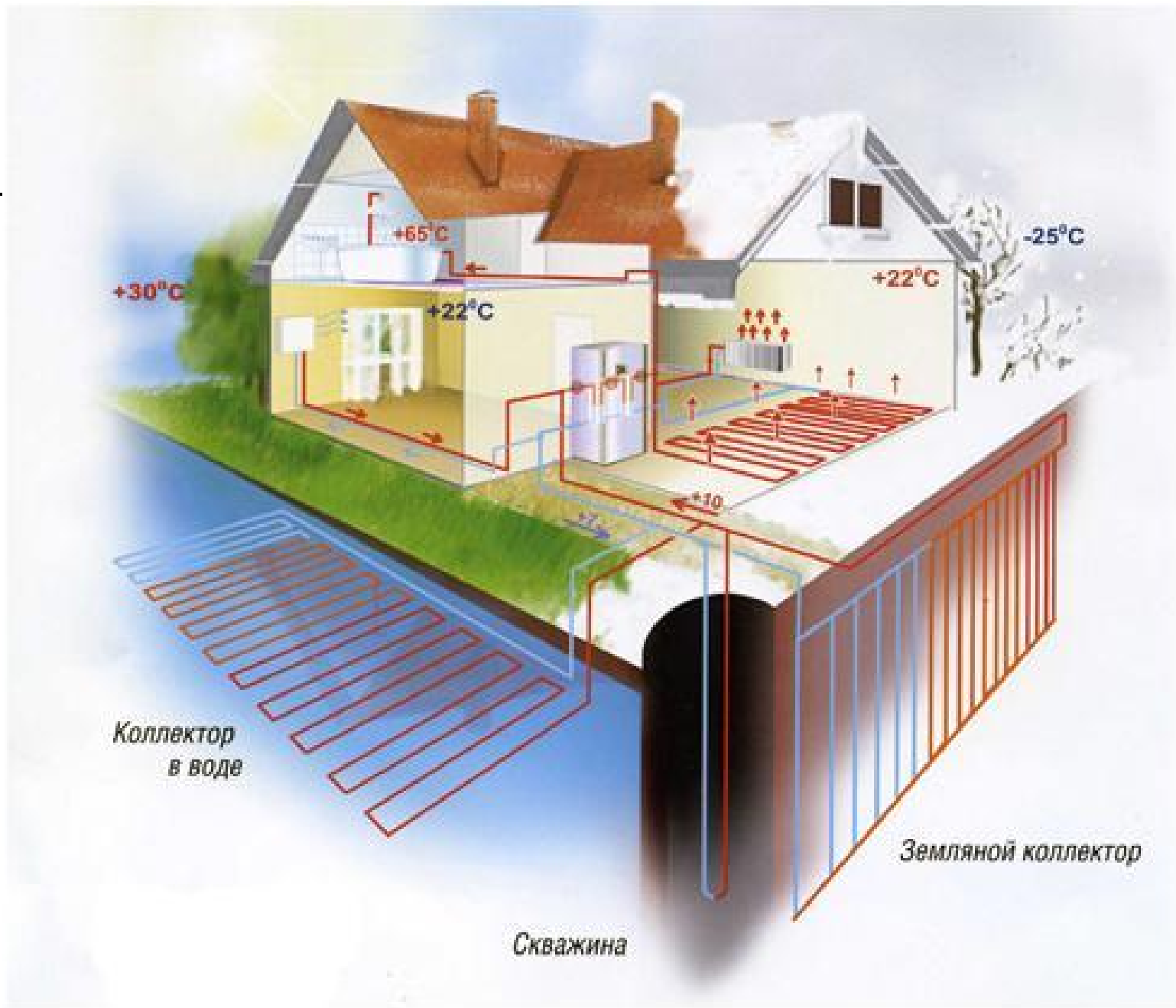


Тепловой насос грунт-вода с вертикальным коллектором

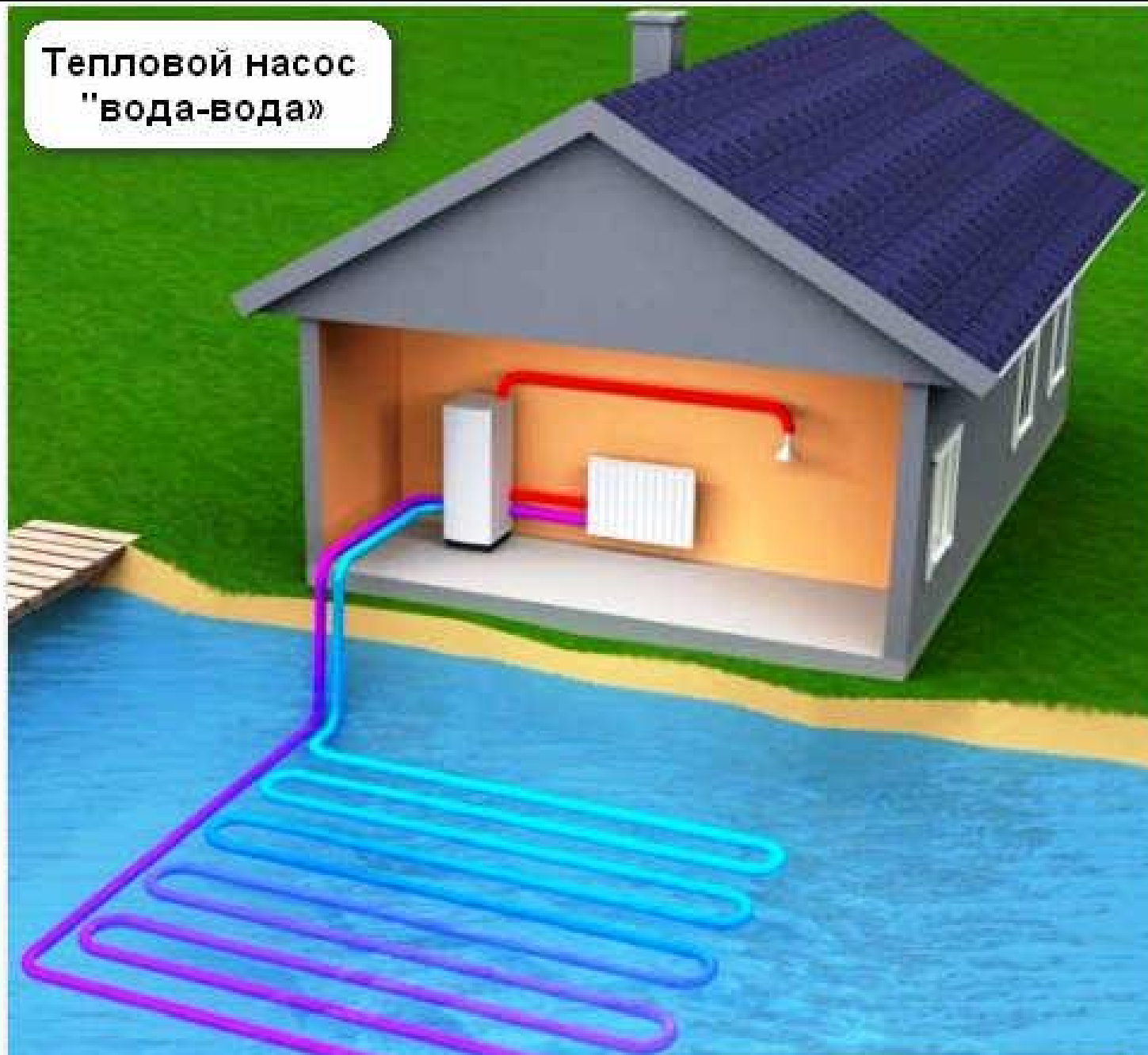








Тепловой насос
"вода-вода»



**Тепловой насос
"воздух-вода"**

