

## Тепловые насосы



**Тепловой насос** - устройство для переноса тепловой энергии от теплоотдатчика с низкой температурой (чаще всего — окружающей среды) к теплоприемнику с высокой температурой. Для работы Теплового насоса необходима затрата внешней энергии (например, механической, электрической, химической). Рабочим телом в Тепловом насосе обычно является жидкость с низкой температурой кипения (например, фреон, аммиак). Конденсатор является теплообменным аппаратом, выделяющим теплоту для потребителя, а испаритель — теплообменным аппаратом, утилизирующим низкопотенциальную теплоту: вторичные энергетические ресурсы и (или) нетрадиционные возобновляемые источники энергии. Теплоприёмник Теплового насоса получает, кроме теплоты, эквивалентной совершаемой внешней работе, теплоту, перенесённую от теплоотдатчика, например речной воды; следовательно, коэффициент преобразования энергии в Тепловом насосе всегда больше единицы и такой процесс более выгоден, чем непосредственное превращение электрической, механической или химической энергии в теплоту. Иногда Тепловые насосы применяются для отопления в районах с жарким климатом, так как в летний период эта же установка охлаждает подаваемый в здание воздух. Тепловой насос получил широкое распространение во время 2-й мировой войны 1939—45 в связи с топливными затруднениями, особенно в странах, где имеется в избытке дешёвая электрическая энергия гидроэлектростанций.

## История возникновения теплового насоса



Концепция тепловых насосов была разработана еще в 1852 году выдающимся британским физиком и инженером Уильямом Томсоном (Лордом Кельвином) и в дальнейшем усовершенствована и детализирована австрийским инженером Петером Риттер фон Риттингером. Петера Риттера фон Риттингера считают изобретателем теплового насоса, ведь именно он спроектировал и установил первый известный тепловой насос в 1855 году. Но практическое применение тепловой насос приобрел значительно позже, а точнее в 40-х годах XX столетия, когда изобретатель-энтузиаст Роберт Вебер экспериментировал с морозильной камерой. Однажды Вебер случайно прикоснулся к горячей трубе на выходе камеры и понял, что тепло просто выбрасывается наружу. Изобретатель задумался над тем, как использовать это тепло, и решил поместить трубу в бойлер для нагрева воды. В результате Вебер обеспечил свою семью таким количеством горячей воды, которое они физически не могли использовать, при этом часть тепла от нагретой воды попадала в воздух. Это подтолкнуло его к мысли, что от одного источника тепла можно нагревать и воду, и воздух одновременно, поэтому Вебер усовершенствовал свое изобретение и начал прогонять горячую воду по спирали (через змеевик) и с помощью небольшого вентилятора распространять тепло по дому с целью его отопления. Со временем именно у Вебера появилась идея «выкачивать» тепло из земли, где температура не слишком изменялась в течение года. Он поместил в грунт медные трубы, по которым циркулировал фреон, который «собирает» тепло земли. Газ конденсировался, отдавал свое тепло в доме, и снова проходил через змеевик, чтобы подобрать следующую порцию тепла. Воздух приводился в движение с помощью вентилятора и распространялся по дому. В следующем году Вебер продал свою старую угольную печь. Сегодня именем Риттингера названа Международная премия по тепловым насосам (медали с его изображением), посвященная достижениям в области теплонасосных и связанных с ними технологий, таких как отопление и кондиционирование воздуха.



## Типы тепловых насосов



Тепловой насос - термодинамическая установка, в которой теплота от низкопотенциального источника передается потребителю при более высокой температуре. При этом затрачивается механическая энергия. Источником низкопотенциальной тепловой энергии может быть тепло как естественного, так и искусственного происхождения. В качестве естественных источников низкопотенциального тепла могут быть использованы:

- тепло земли (тепло грунта);
- подземные воды (грунтовые, артезианские, термальные);
- наружный воздух.

В качестве искусственных источников низкопотенциального тепла могут выступать:

- удаляемый вентиляционный воздух;
- канализационные стоки (сточные воды);
- промышленные сбросы;
- тепло технологических процессов;
- бытовые тепловыделения.

Существуют разные варианты классификации тепловых насосов. Ограничимся делением систем по их оперативным функциям на две основных категории:

- тепловые насосы только для отопления и/или горячего водоснабжения, применяемые для обеспечения комфортной температуры в помещении или приготовления горячей санитарной воды;
- интегрированные системы на основе тепловых насосов, обеспечивающие отопление помещений, охлаждение, приготовление горячей санитарной воды и иногда утилизацию отводимого воздуха. Подогрев воды может осуществляться либо отбором тепла перегрева подаваемого газа с компрессора, либо комбинацией отбора тепла перегрева и использования регенерированного тепла конденсатора.

По **виду теплоносителя** во входном и выходном контурах насосы делят на шесть типов: «грунт—вода», «вода—вода», «воздух—вода», «грунт—воздух», «вода—воздух», «воздух—воздух».

## Источники тепла

Тепловые, энергетические и экономические характеристики тепловых насосов тесно взаимосвязаны с характеристиками источников, откуда насосы черпают тепло.

Идеальный источник тепла должен давать стабильную высокую температуру в течение отопительного сезона, быть изобильным, не быть коррозионным и загрязняющим, иметь благоприятные теплофизические характеристики, не требовать существенных инвестиций и расходов по обслуживанию.

В большинстве случаев имеющийся источник тепла является ключевым фактором, определяющим эксплуатационные характеристики теплового насоса. В табл. 1 приведены температурные показатели, типичные для наиболее распространенных источников тепла.

Наружный и отводимый воздух, почва и подпочвенная вода представляют источники тепла, широко используемые в небольших системах на базе тепловых насосов, тогда как морская, озерная и речная вода, геотермические источники и грунтовые воды применяются для систем большой мощности.

**Таблица 1**

Температурный уровень, характерный для основных источников тепла, применяемых в системах на основе тепловых насосов в режиме отопления

Источник тепла	Температурный диапазон, °C
Наружный воздух	-10/+15
Отводимый воздух	15/25
Подпочвенная вода	4/10
Озерная вода	0/10
Речная вода	0/10
Морская вода	3/8
Грунт	0/10
Грунтовые воды	>10

## Воздух

Наружный воздух, будучи совершенно бесплатным и общедоступным, является наиболее предпочитаемым источником тепла.

Тем не менее, тепловые насосы, применяющие именно воздух, имеют фактор сезонной нагрузки (SPF) в среднем ниже на 10–30% по сравнению с водяными тепловыми насосами. Это объясняется следующими обстоятельствами:

- быстрым снижением мощности и производительности с падением наружной температуры;
- относительно большой разностью температур конденсации и испарения в период минимальных зимних температур, что в целом снижает эффективность процесса;
- энергозатратами на размораживание испарительной батареи и функционирование соответствующих вентиляторов.

В условиях теплого и влажного климата на поверхности испарителя в диапазоне от 0 до 6°C образуется изморось, что ведет к снижению мощности и производительности теплового насоса.

Иней уменьшает площадь свободной поверхности и препятствует прохождению воздуха. Как следствие, снижается температура испарения, что в свою очередь способствует нарастанию инея и дальнейшему неуклонному снижению производительности вплоть до возможной полной остановки агрегата вследствие срабатывания контрольного датчика низкого давления, если прежде не будет устранено обледенение.

Размораживание батареи осуществляется путем инверсии охлаждающего цикла или иными, хотя и менее эффективными способами.

Энергопотребление имеет тенденцию к росту, общий коэффициент производительности COP сокращается с увеличением частоты размораживания. Применение специальной системы контроля, обеспечивающей размораживание по требованию (то есть когда оно фактически необходимо), а не периодическое, может существенно повысить общую эффективность.

Еще один источник тепла в жилых и торгово-административных сооружениях – отводимый вентиляционный воздух.



# Вода

Подпочвенные воды есть во многих местах, они имеют достаточно стабильную температуру в диапазоне от 4 до 10°C .

Для ее использования применяются главным образом открытые системы: подпочвенная вода откачивается и подается на теплообменник системного агрегата, где у воды отбирается часть содержащегося в ней тепла. Вода, охлажденная таким образом, отводится в сливной колодец или в поверхностные воды. Открытые системы требуют самого тщательного проектирования в целях предотвращения проблем с замерзанием, коррозией и накоплением отложений.

Большим недостатком тепловых насосов, работающих на подпочвенных водах, является высокая стоимость работ по монтажу водозабора. Кроме того, следует учитывать требования, порой весьма жесткие, местных администраций в вопросах организации сточных вод.

Речная и озерная вода с теоретической точки зрения представляется весьма привлекательным источником тепла, но имеет один существенный недостаток – чрезвычайно низкую температуру в зимний период (она может опускаться до уровня чуть выше или практически вплотную к 0°C ). По этой причине требуется особое внимание при проектировании системы в целях предотвращения замораживания испарителя.

Морская вода представляется в некоторых случаях отличным источником тепла и используется главным образом в средних и крупных системах.

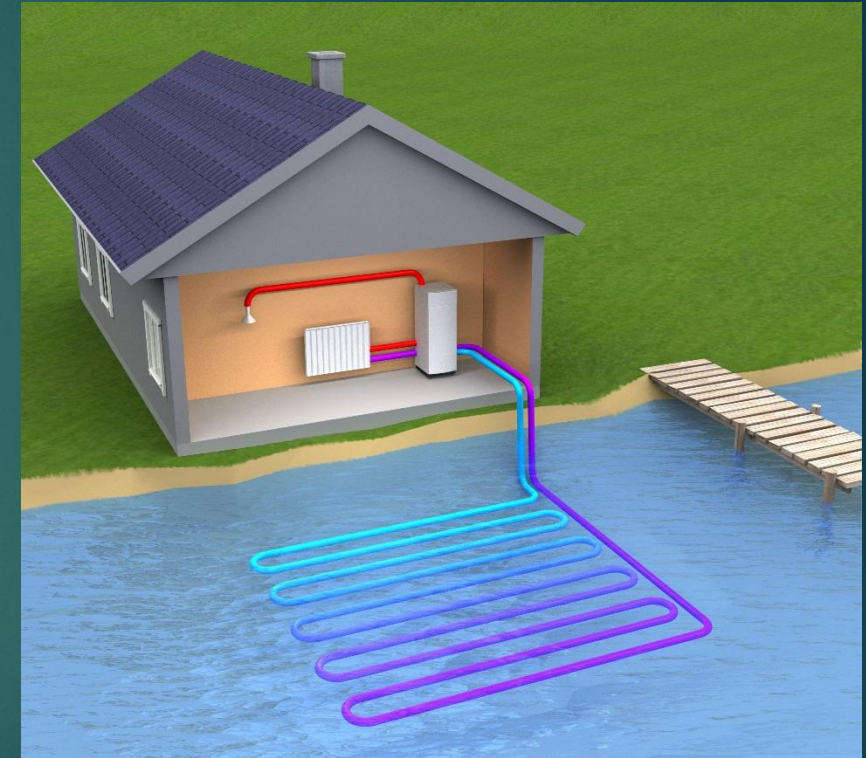
На глубине от 25 до 50 м морская вода имеет постоянную температуру в диапазоне от 5 до 8° С . И, как правило, проблем с образованием льда не возникает, поскольку точка замерзания здесь от -10 до -2°C . Есть возможность использовать как системы прямого расширения, так и системы с рассолом.

Важно только использовать теплообменники и насосные агрегаты, стойкие к воздействию коррозии, и предотвращать накопление отложений органического характера в водозаборном трубопроводе, теплообменниках, испарителях и пр.

Грунтовыми водам свойственна относительно высокая и стабильная в течение года температура.

Основные ограничения здесь, как правило, могут составлять расстояние транспортировки и фактические ресурсы, объем которых может меняться.

Примерами возможных источников тепла в данной категории носителей можно считать грунтовые воды на канализационных участках (очистные и прочие водостоки), промышленные водостоки, водостоки участков охлаждения промышленных конденсаторов или производства электроэнергии.



## Грунт

Тепловые насосы, применяющие грунт в качестве источника тепла, используются для обслуживания жилых и торгово-административных сооружений. Грунт, как и подпочвенные воды, имеет одно преимущество – относительно стабильную в течение года температуру. Тепло отбирается по трубам, уложенным в землю горизонтально или вертикально (спиралеобразно). Здесь могут использоваться:

- системы прямого расширения с охлаждающей жидкостью, испаряющейся по мере циркуляции в контуре трубопровода, заглубленного в грунт;

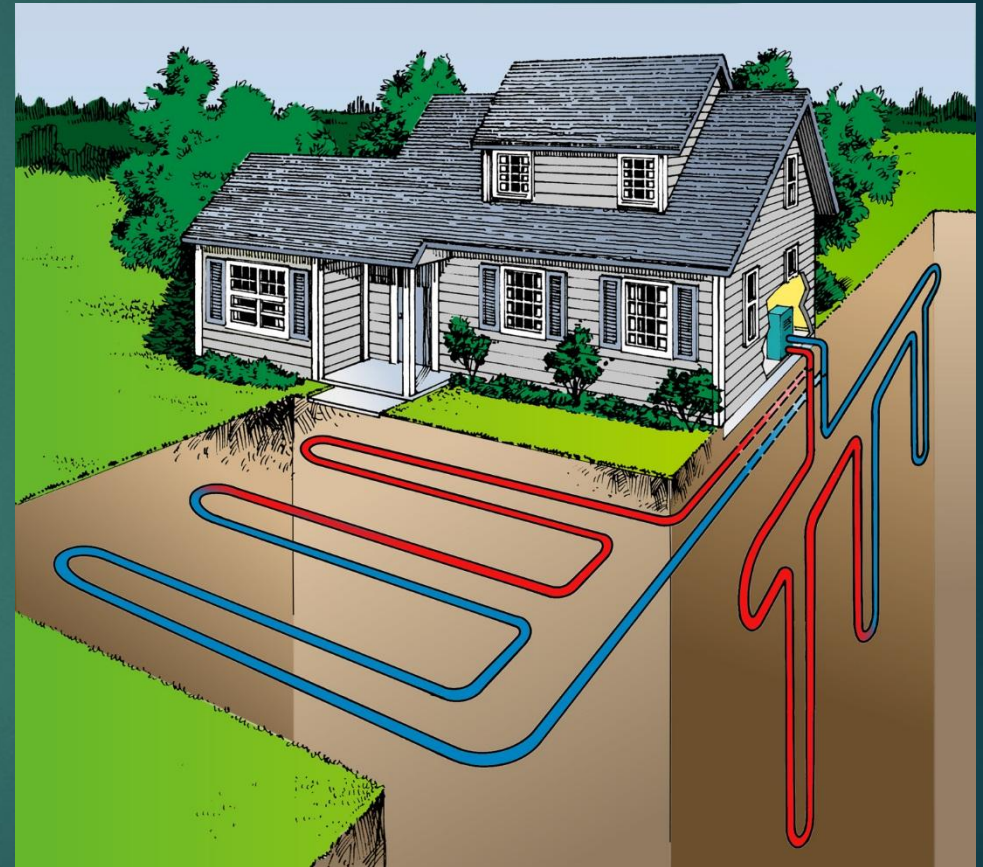
- системы с рассольной жидкостью, прокачиваемой по трубопроводу, заглубленному в грунт. В целом тепловые насосы рассольного типа имеют более низкую производительность по сравнению с агрегатами первого типа в силу происходящего в них «двойного» теплообмена (грунт-рассол, рассол-хладагент) и энергозатрат на обеспечение работы циркуляции рассола. Хотя справедливости ради надо заметить, что обслуживать такие системы существенно проще.

Тепловая емкость грунта варьируется в зависимости от его влажности и общих климатических условий конкретной местности. В силу производимого отбора тепла во время отопительного сезона его температура понижается.

На участках с холодным климатом большая часть энергии извлекается в форме латентного тепла, когда грунт промерзает. В летний период, однако, под действием солнца температура грунта вновь поднимается вплоть до создания возможности полностью вернуться к первоначальным условиям.

Действующие по такому принципу тепловые насосы обычно называют «геотермическими», что по сути своей неверно, поскольку здесь не задействовано радиогенное тепло земли, содержащееся в глубинных скальных породах.

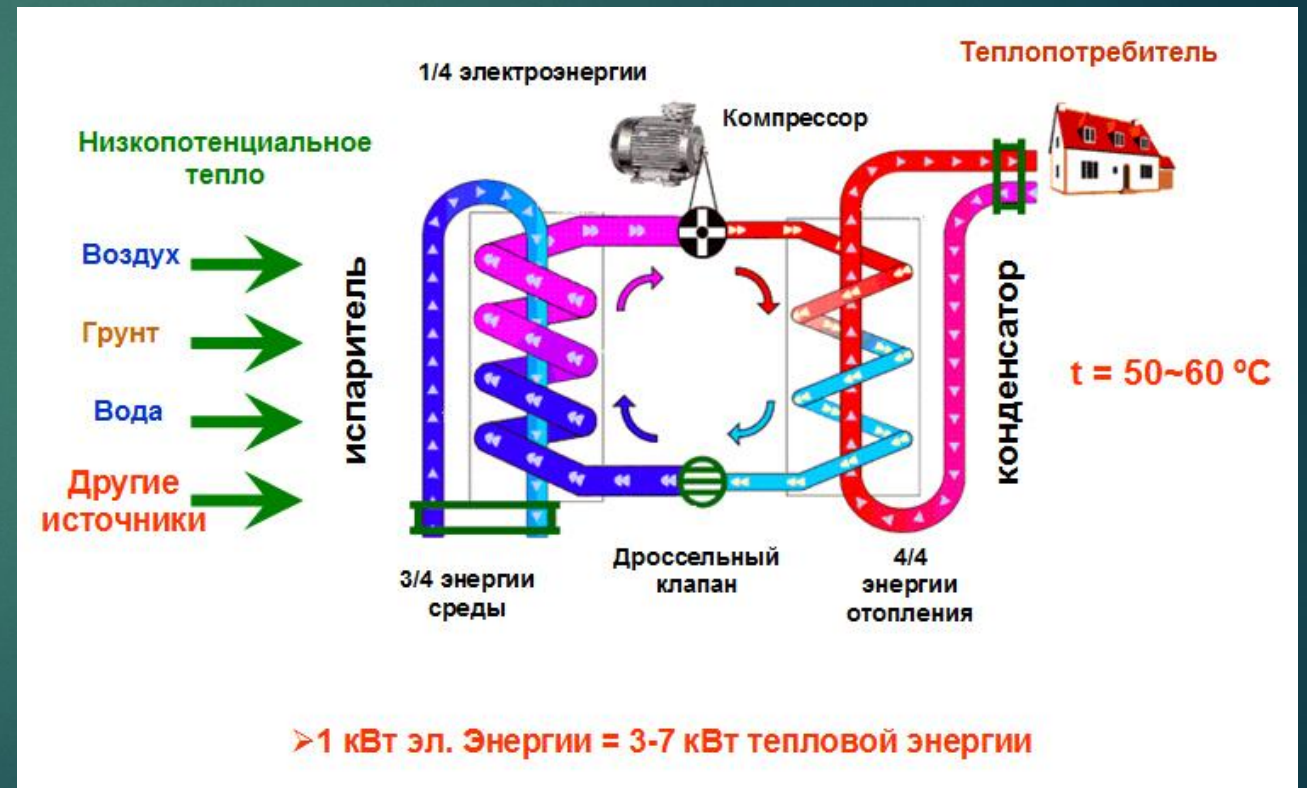
Геотермическими источниками (скальными) можно пользоваться в регионах, где подпочвенных вод мало или нет совсем. Тогда нужно пробурить колодцы глубиной от 100 до 200 м. В том случае, если требуется обеспечить высокую тепловую мощность, колодцы бурятся под определенным наклоном таким образом, чтобы добраться и опереться в большой скальный массив. Для таких тепловых насосов также применяется рассольная жидкость и пластмассовый сварной трубопровод, извлекающий тепло из скалы. В некоторых системах скальная порода используется для аккумуляции тепла или охлаждающей энергии. В силу высокой стоимости буровых работ скальные породы для обслуживания жилого сектора применяются довольно редко.



## Принцип работы теплового насоса

Любой теплонасос состоит из испарителя, конденсатора, расширителя, понижающего давление, и компрессора, который давление повышает. Все эти устройства соединены в один замкнутый контур трубопроводом. По трубам циркулирует хладагент, инертный газ с очень низкой температурой кипения, поэтому в одной части контура, холодной, он представляет собой жидкость, а во второй, теплой, он переходит в газообразное состояние. Точка кипения, как известно из физики, может меняться в зависимости от давления, вот зачем нужны в этой системе расширитель и компрессор.

Предположим, что снаружи теплоноситель циркулирует по трубам, уложенным в земле, поскольку он имеет низкую температуру, то проходя по ним, он нагревается, даже когда внешняя температура составляет всего около 4-5°C. Поступая в испаритель, который выполняет функцию теплообменника, теплоноситель отдает полученное тепло во внутренний контур системы, который заполнен хладагентом. Даже этого тепла достаточно, чтобы хладагент перешел из жидкого в газообразное состояние. Двигаясь дальше, газ перемещается в компрессор, где под действием высокого давления сжимается, а его температура при этом повышается. Став горячим, газ поступает в конденсатор, который также является теплообменником. В нем происходит передача тепла от горячего газа к теплоносителю обратного трубопровода, входящего в отопительную систему дома. Отдав тепло, газ охлаждается и снова переходит в жидкое состояние, в то время, как нагретый теплоноситель поступает в систему горячего водоснабжения и отопления. Проходя через редукционный клапан расширителя, сжатый газ снова попадает в испаритель – цикл замыкается.







## Методика расчета теплового насоса:

Безусловно, процесс выбора и расчет теплового насоса является весьма сложной в техническом отношении операцией и зависит от индивидуальных особенностей объекта, но ориентировочно он может быть сведен к следующим этапам:

Определяются теплотери через ограждающие конструкции здания (стены, перекрытия, окна, двери). Сделать это можно, применив следующее соотношение:

$$Q_{ок} = S * (t_{вн} - t_{нар}) * (1 + \sum \beta) * n / R_t \quad (\text{Вт}) \quad \text{где}$$

$t_{нар}$  – наружная температура воздуха (°C);

$t_{вн}$  – внутренняя температура воздуха (°C);

$S$  – суммарная площадь всех ограждающих конструкций (м<sup>2</sup>);

$n$  – коэффициент, указывающий влияние окружающей среды на характеристики объекта. Для помещений, напрямую контактирующих через перекрытия с наружной средой  $n=1$ ; для объектов, имеющих чердачные перекрытия  $n=0,9$ ; если же объект размещен над подвальным помещением  $n = 0,75$ ;

$\beta$  – коэффициент добавочных теплотерь, который зависит от типа строения и его географического расположения  $\beta$  может варьироваться от 0,05 до 0,27;

$R_t$  – теплосопротивление, определяется по следующему выражению:

$$R_t = 1 / \alpha_{внутр} + \sum (\delta_i / \lambda_i) + 1 / \alpha_{нар} \quad (\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}), \text{ где:}$$

$\delta_i / \lambda_i$  – расчетный показатель теплопроводности применяемых при строительстве материалов.

$\alpha_{нар}$  – коэффициент теплового рассеивания наружных поверхностей ограждающих конструкций (Вт / м<sup>2</sup>·°C);

$\alpha_{внутр}$  – коэффициент теплового поглощения внутренних поверхностей ограждающих конструкций (Вт / м<sup>2</sup>·°C);

- Рассчитываются суммарные теплотери сооружения по формуле:

$Q_{т.пот} = Q_{ок} + Q_{и} - Q_{бп}$ , где:

$Q_{и}$  - затраты энергии на подогрев воздуха поступающего к помещению через естественные неплотности;

$Q_{бп}$  - выделения тепла за счет функционирования бытовых приборов и деятельности людей.

2. На основании полученных данных рассчитывается годичное потребление тепловой энергии для каждого индивидуального объекта:

$Q_{год} = 24 * 0.63 * Q_{т. пот.} * ((d * (t_{вн} - t_{нар.ср.}) / (t_{вн} - t_{нар.}))$  (кВт/час за год.) где:

$t_{вн}$  – рекомендуемая температура воздушной среды внутри помещения;

$t_{нар}$  – наружная температура воздуха;

$t_{нар.ср}$  – среднеарифметическое значение температуры наружного воздуха за весь отопительный сезон;

$d$  – число дней отопительного периода.

3. Для полного анализа потребуется рассчитать и уровень тепловой мощности необходимой для разогрева воды:

$Q_{гв} = V * 17$  (кВт/час за год.) где:

$V$  –объем каждодневного нагрева воды до 50 °С.

Тогда суммарный расход тепловой энергии определится по формуле:

$Q = Q_{гв} + Q_{год}$  (кВт/час за год.)

Принимая во внимание полученные данные, подобрать наиболее подходящий тепловой насос для отопления и горячего водоснабжения не составит большого труда. Причем расчетная мощность определится как

$Q_{тн} = 1,1 * Q$ , где:

1,1 – корректирующий коэффициент, указывающий возможность увеличения нагрузки на тепловой насос в период возникновения критических температур.


## Преимущества

К преимуществам тепловых насосов в первую очередь следует отнести экономичность: для передачи в систему отопления 1 кВт·ч тепловой энергии установке необходимо затратить всего 0,2-0,35 кВт·ч электроэнергии. Так как преобразование тепловой энергии в электрическую на крупных электростанциях происходит с КПД до 50 %, эффективность использования топлива при применении тепловых насосов повышается. Упрощаются требования к системам вентиляции помещений и повышается уровень пожарной безопасности. Все системы функционируют с использованием замкнутых контуров и практически не требуют эксплуатационных затрат, кроме стоимости электроэнергии, необходимой для работы оборудования.

Еще одним преимуществом тепловых насосов является возможность переключения с режима отопления зимой на режим кондиционирования летом: просто вместо радиаторов к внешнему коллектору подключаются фэн-койлы. Тепловой насос надежен, его работой управляет автоматика. В процессе эксплуатации система не нуждается в специальном обслуживании, возможные манипуляции не требуют особых навыков и описаны в инструкции.

Важной особенностью системы является ее сугубо индивидуальный характер для каждого потребителя, который заключается в оптимальном выборе стабильного источника низкопотенциальной энергии, расчете коэффициента преобразования, окупаемости и прочего.

Теплонасос компактен (его модуль по размерам не превышает обычный холодильник) и практически бесшумен. Хотя идея, высказанная лордом Кельвином в 1852 году, была реализована уже спустя четыре года, практическое применение теплонасосы получили только в 30-х годах прошлого века. В западных странах тепловые насосы применяются давно — и в быту, и в промышленности. Сегодня в Японии, например, эксплуатируется около 3 миллионов установок, в Швеции около 500 000 домов обогревается тепловыми насосами различных типов.



- *Большие первоначальные капиталовложения.* Помимо того, что на тепловые насосы для отопления цены довольно высоки (от 3000 до 10000 у.е.), так еще дополнительно на обустройство геотермальной системы потребуется затратить не меньше, чем на сам насос. Исключением является воздушный тепловой насос, не требующий дополнительных работ. Окупится тепловой насос не скоро (лет через 5 – 10). Так что ответ на вопрос, использовать или не использовать тепловой насос для отопления, скорее зависит от предпочтений хозяина, его финансовых возможностей и условий строительства. Например, в регионе, где подведение газовой магистрали и подключение к ней стоит столько же, сколько и тепловой насос, имеет смысл отдать предпочтение последнему.

- В регионах, где температура зимой опускается ниже  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ , необходимо использовать дополнительный источник тепла. Это называется бивалентная система отопления, в которой тепловой насос обеспечивает тепло, пока на улице до  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а когда он не справляется, подключается например, электрообогреватель или газовый котел, или теплогенератор.

- *Экологичность тепловых насосов, берущих тепло из воды и грунта, несколько относительна.* Дело в том, что в процессе работы пространство вокруг труб с теплоносителем охлаждается, а это нарушает устоявшуюся экосистему. Ведь даже в глубине грунта живут анаэробные микроорганизмы, обеспечивающие жизнедеятельность более сложных систем. С другой стороны – по сравнению с добычей газа или нефти ущерб от теплового насоса минимален.

## Надежность и долговечность тепловых насосов

Помимо весьма высокой эффективности тепловые насосы достигли в настоящее время такого уровня конструктивной прочности, который обеспечивает чрезвычайную долговечность и более чем внушительную надежность. По результатам исследований отмечены следующие данные:

- бытовые тепловые насосы класса «воздух-воздух» – 15 лет;
- тепловые насосы сферы обслуживания класса «воздух-воздух» – 15 лет;
- тепловые насосы сферы обслуживания класса «вода-воздух» – 19 лет.

Цифры весьма внушительные и лишний раз подтверждают высокое качество этих агрегатов. В их пользу говорит и такой факт: исследование проводилось на машинах, оснащенных большей частью переменными герметичными компрессорами. Если бы проверка проводилась в наши дни, результаты могли бы быть еще более впечатляющими, поскольку ныне почти повсеместно применяются спиральные компрессоры.

## Условия эксплуатации

В зависимости от исполнения оборудования производитель может рекомендовать особые условия для работы выбранной модели. Например, зачастую необходимо устанавливать насос выше уровня воды в бассейне для повышения эффективности устройства. Желательно, чтобы эксплуатировался аппарат при допустимых значениях температуры окружающего воздуха и воды в бассейне (до начала функционирования насоса).

Принимается во внимание и уровень влажности в непосредственной близости к оборудованию. Для долговременной работы устройства необходимо соблюдать основные требования: приобретать исполнение, подходящее для конкретных условий; следить за тем, чтобы на теплонасос не приходились значительные перегрузки на протяжении длительного времени.

Для успешного выбора достаточно соотнести параметры устройства с теми условиями, при которых оно будет функционировать.

Например, учитывается номинальная и тепловая мощность, электрические параметры аппарата и электросети, предполагаемый объем воды, который необходимо прогреть. Более дорогостоящее оборудование рассчитано на обслуживание крупных объектов. Основные узлы таких устройств выполнены из особо прочного металла (титана). Периодическое обслуживание техники данного рода позволит дополнительно продлить срок из службы, в особенности, речь идет о системе фильтрации.

