



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
УПРАВЛЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ
КВАЛИФИКАЦИИ

Кафедра «Теплоэнергетика и прикладная гидромеханика»

Учебное пособие

«Расчет основных эксплуатационных параметров тепловых насосов малой мощности»

Авторы
Озерский А. И.,
Романов В.В.,
Галка Г. А.

Ростов-на-Дону, 2018



Аннотация

Учебное пособие предназначено для студентов очной, заочной форм обучения направления 16.03.03 Холодильная, криогенная техника и системы жизнеобеспечения

Авторы

к.т.н., доцент «ТиПГ» Озерский А.И.,
к.т.н., доцент «ТиПГ» Романов В.В.,
ст. преподаватель кафедры «ТиПГ» Галка Г.А.



Оглавление

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1 Тепловые насосы и область их применения	8
1.1 Применение тепловых насосных установок в системах теплоснабжения.....	8
1.2 Принцип действия теплового насоса.....	11
1.3 Источники тепловой энергии тепловых насосов.....	14
1.4 Схема системы жизнеобеспечения дома при помощи теплового насоса и принцип его работы	18
1.5 Достоинства и недостатки теплового насоса.....	22
2 Тепловые насосы и их виды	24
2.1 Виды тепловых насосов	24
2.2 Схема теплоснабжения с помощью теплового насоса	25
2.3 Область применения различных насосов, компрессоров и нагнетателей	28
2.4 Тепловые насосы в системах отопления и кондиционирования	31
3 Экспериментальное определение эксплуатационных параметров теплового насоса и сравнение их с данными техпаспорта	34
3.1 Общие представления о стенде «Тепловой насос СТН 01.00.01»	34
Рисунок 12 - Внешний вид приборов для измерения давления и температуры хладагента теплового насоса...39	
3.2 Общие сведения и пример работы теплового насоса	39
3.3 Методика термодинамического расчета теплового насоса.....	44
3.4 Пояснения к расчетам ХМ теплового насоса.	45
3.5 Определение основных параметров теоретического цикла и требуемой объемной производительности (подачи) компрессора.....	47
3.6 Мощность привода компрессора	49
3.7 Определение количества теплоты, отдаваемое конденсатором и испарителем	51
3.8 Холодильный и отопительный коэффициенты	



теплого насоса	52
3.9 Гидравлический расчет капиллярной трубки	53
Список литературы	54

ВВЕДЕНИЕ

Тепловой насос – холодильная машина, при помощи которой осуществляется отвод тепла от окружающей среды с низкой температурой (холодного воздуха, океана, грунта и т.п.) и передача этого тепла среде с более высокой температурой (для обогрева жилых и технических помещений).

Таким образом, тепловые насосы работают по такому же принципу, что и холодильные машины.

Пример. В зимних условиях можно использовать тепловой насос для того, чтобы нагреть помещение с температурой $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (293 K) тепловой энергией холодного атмосферного воздуха или грунта с температурой $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (253 K). Это можно осуществить с помощью теплового насоса. При этом необходимо организовать кипение (при температуре $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$) хладагента (фреона, аммиака и т.п.) в испарителе, расположенном в холодной среде, а затем – его конденсацию (при температуре $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$) в конденсаторе, расположенном в отапливаемом помещении.

Естественно, что тепловые насосы, в современных условиях жизнеобеспечения населённых мест, довольно интенсивно вытесняют традиционные способы теплоснабжения, основанные на сжигании органического топлива.

Согласно прогнозам Мирового энергетического комитета (МИРЭК) к 2020 г. 75 % теплоснабжения (коммунального и производственного) в развитых странах будет осуществляться с помощью тепловых насосов.

Этот прогноз успешно подтверждается. В настоящее время в мире работает 15-18 млн. тепловых насосов различной мощности – от нескольких киловатт до сотен мегаватт. В США более 30 % жилых домов оборудованы тепловыми насосами. В Швеции

с 1984 г. по 1986 г. введены в эксплуатацию 74 крупные (от 5 до 80 МВт) теплонаносные станции. Наиболее крупным тепловым насосом является стокгольмская установка мощностью 320 МВт, работающая на принципе охлаждения воды, (получение тепла от холодной воды) поступающей из Балтийского моря. Эта установка, расположенная на причаленных к берегу баржах, использует зимой морскую воду с температурой 4 °С, охлаждая ее до 2 °С. Себестоимость тепла от этой установки на 20 % ниже себестоимости тепла, получаемого от газовой котельной. Общее количество тепла, вырабатываемого насосными установками в Швеции, составляет около 50 % от требуемого.

Томсон (лорд Кельвин) в 1852 г. предложил применить холодильный цикл для целей отопления, используя тепловой насос, который «перекачивал» бы теплоту, отобранную от холодного источника (внешней среды), и подавал бы теплоту потребителю.

К преимуществам тепловых насосов можно отнести:

- **экономичность.** Низкое энергопотребление достигается за счет высокого коэффициента отопления. Это позволяет получить на 1 кВт фактически затраченной энергии 3...8 кВт передаваемой (перекачиваемой) тепловой энергии.

- **экологичность.** Тепловые насосы это экологически чистые агрегаты, используемые для отопления помещений в системах жизнеобеспечения населённых мест (рисунок 2).

Применение тепловых насосов — это сбережение невозобновляемых энергоресурсов и защита окружающей среды, в том числе и путем сокращения выбросов CO₂ в атмосферу. Тепловые насосные установки, осуществляя обратный термодинамиче-

ский цикл на низкокипящем рабочем веществе, черпают возобновляемую низкопотенциальную тепловую энергию из окружающей среды, повышают ее потенциал до уровня, необходимого для теплоснабжения, затрачивая в 1,2–2,3 раза меньше первичной энергии, чем при прямом сжигании топлива;

- **безопасность.** Нет открытого пламени, нет выхлопа, нет сажи, нет запаха солянки, исключены утечка газа, разливы мазута. Нет взрыво- и пожароопасных хранилищ для угля, дров, мазута или солянки;

- **надежность.** Минимум подвижных частей с высоким ресурсом работы. Независимость от поставки топочного материала и его качества. Защита от перебоев электроэнергии. Практически не требует обслуживания. Срок службы теплового насоса составляет 15–25 лет;

- **комфорт.** Тепловой насос работает бесшумно (также как холодильник), а погодозависимая автоматика и мультизональный климатический контроль создают комфорт и уют в помещениях;

- **гибкость.** Тепловой насос совместим с любой циркуляционной системой отопления, а современный дизайн позволяет устанавливать его в любых помещениях;

- **универсальность.** По отношению к виду используемой энергии (электрической или тепловой);

- **широкий диапазон** мощностей (от долей до десятков тысяч киловатт).

Недостатки:

- использование фреонов;
- очень высокая стоимость оборудования.

2. Принцип работы теплового насоса.

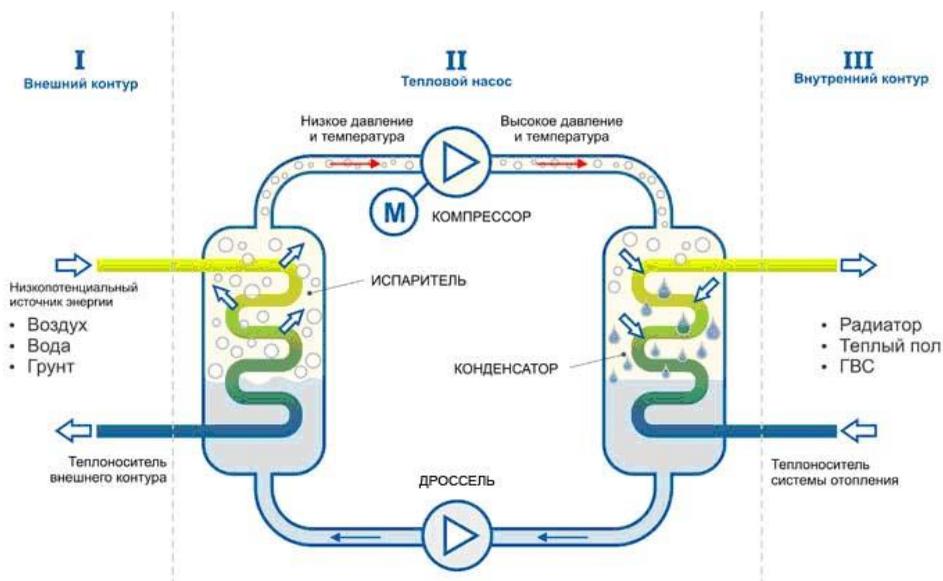


Рис. 1 Схема работы теплового насоса с компрессором.

В качестве рабочего тела в компрессионном (с компрессором) тепловом насосе используются хладагенты - жидкости с достаточно большой теплотой парообразования, кипящие при низких (+5...-50 °С) температурах и давлениях несколько больших атмосферного. Обычно это аммиак и фреоны.

1 ТЕПЛОВЫЕ НАСОСЫ И ОБЛАСТЬ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ

1.1 Применение тепловых насосных установок в системах теплоснабжения

Первая схема теплового насоса, которая назвалась «умножителем тепла», была представлена Кельвином в 1852г. Патент на технологию тепловых насосов выдан в 1912г. в Швейцарии. В 20-х годах XX века в Англии была создана первая тепловая насосная установка для отопления и горячего водоснабжения, которая использовала теплоту окружающего воздуха. Тепловая насосная установка, установленная в 30-е годы XX века в здании энергетической компании в штате Коннектикут, США, работает и по сегодняшний день. В Европе первая крупная тепловая насосная установка построена в Цюрихе в 1938-1939 гг., имеющая мощность 175 кВт, которая работала на теплоте речной воды и вырабатывала горячую воду с температурой 60°С [1]. Для покрытия пиковой нагрузки в системе имелся электронагреватель, а в летнее же время установка работала на охлаждение. Резкий рост производства тепловых насосов произошел во время энергетических кризисов с 1973г. по 1979г. Высокое значение коэффициента преобразования теплоты, позволяет обеспечивать теплоснабжение с минимальными затратами первичной энергии. Применение тепловых насосных установок (ТНУ) в системах теплоснабжения более выгодно, чем использование ТЭЦ и индивидуальных котельных. По прогнозам Мирового энергетического комитета, (МИРЭК) к 2020г. в передовых странах доля отопления и горячего водоснабжения тепловыми насосами составит 75%. Применение тепловых насосов для индивидуального теплоснабжения имеет следующие преимущества: тепловые насосы являются установками индивидуального теплоснабжения с исключением протяженных тепловых сетей, снижение объема природного первичного топлива, расходуемого на теплоснабжение, примерно в 1,5–2 раза; улучшение экологи-

ческой обстановки в населенных пунктах, так как сжигание топлива в городских котельных заменяется производством электроэнергии за пределами населенных пунктов, с меньшими затратами топлива для выработки электроэнергии, чем при использовании котлов (таблица. 4); безопасность по сравнению с индивидуальными котельными на природном газе; меньшие затраты на обслуживание, так как тепловые насосы малой мощности, также как холодильники и кондиционеры, не требуют периодического обслуживания, а для тепловых насосов большой мощности требуется лишь периодический контроль.

Таблица 1 - Вредные выбросы за отопительный сезон (5448ч) от различных тепловых источников тепловой мощностью 1,16 МВт

Наименование выброса, т/г	Угольная котельная	Электрический обогрев, газовая котельная	Тепловой насос
SO _x	21,77	38,02	10,56
NO _x	7,62	13,31	3,70
Твёрдые частицы	5,8	8,89	2,46
Фтористые соединения	0,182	0,313	0,087
Всего	34,65	60,53	16,81

1.2 Принцип действия теплового насоса

Тепловой насос— это установка для переноса теплоты от более холодного теплоносителя к более горячему за счет подвода внешней энергии или затраты работы. Тепловые насосы используются для выработки теплоты в системах централизованного и индивидуального отопления и горячего водоснабжения. Они более экономичны и безопасны чем котлы на природном газе или твердом топливе и поэтому являются хорошей альтернативой для систем индивидуального теплоснабжения многоквартирных жилых домов и коттеджей.

Устройство теплового насоса аналогично холодильнику [2]. В его составе есть:

- испаритель и конденсатор;
- хладагент (фреон), имеющий низкую температуру кипения;
- компрессор, создающий необходимые условия для преобразования энергии;
- дроссель, понижающий давление хладагента.

Работа тепловых насосов всех видов подчиняется основным постулатам термодинамики (рисунок – 1). Схематически это выглядит так:

Теплообменник, наполненный антифризом, помещается в грунт ниже глубины промерзания и приобретает температуру, достаточную для нагревания испарителя. В качестве источ-

ника энергии также может использоваться вода или воздух.

Находясь в жидкой фазе, фреон попадает в испаритель, где закипает и переходит в газообразное состояние. Далее газообразный фреон попадает в компрессор, где под давлением нагревается до заданной температуры. Горячий фреон поступает в конденсатор, где обогревает теплоноситель. Полученная горячая вода используется в системе отопления и водоснабжения. Покинув конденсатор, фреон проходит через дроссельный клапан, после чего его давление резко падает. При этом фреон переходит из газообразного состояния в жидкое, весь цикл повторяется. Таким образом, имея на входе низкопотенциальный источник энергии, можно обогреть дом с минимальными затратами. Для работы установки необходимо лишь незначительное количество электроэнергии для питания компрессора внутри теплового насоса.

Замкнутый герметичный контур системы исключает потери фреона и не требует других расходов по содержанию насоса в течение 15-20 лет.

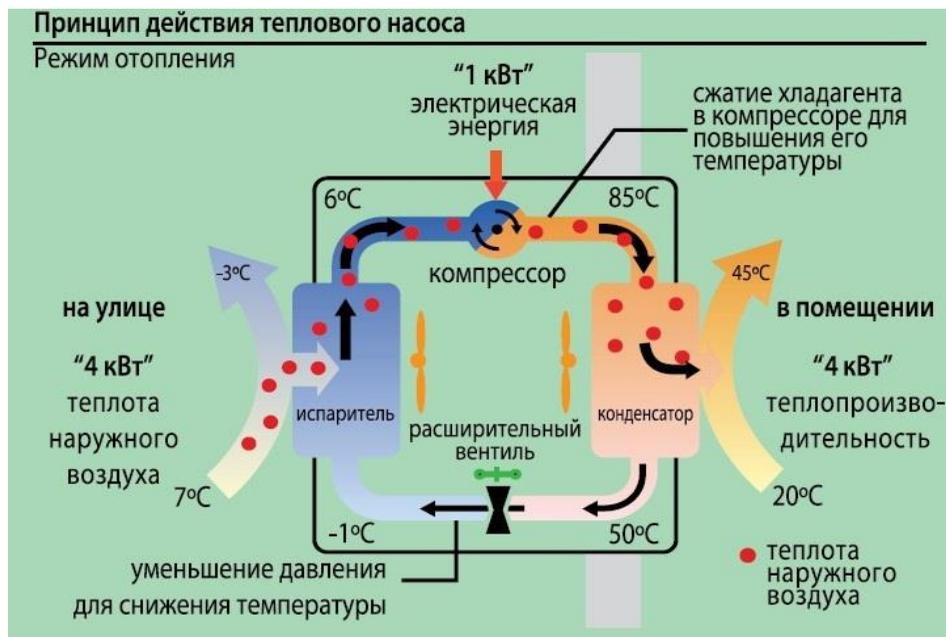


Рисунок 1- Принцип действия теплового насоса, обеспечивающий режим отопления

Преимущества тепловых насосов перед обычными системами отопления - заключаются в возможности обеспечить дом экономичным и экологически нейтральным отоплением, используя тепло внешней среды. А этого тепла, даже в зимний период, насос способен раздобыть достаточно большое количество. Это и воздух, и земля, и стены.

Окружающая среда повсеместно обладает неисчерпаемыми источниками тепла. Солнце нагревает почву, воду, воздух. Этого тепла скапливается неограниченное количество. Человечество выбрасывает в атмосферу большое количество энергии в виде тепла, что является одной из причин парникового эффекта. То есть, при имеющихся ресурсах окружающей среды, эффектив-

ность тепловых насосов очень высока.

1.3 Источники тепловой энергии тепловых насосов

Общеизвестно, что функционирование тепловых насосов основано на использовании бесплатных, возобновляемых источников энергии:

- тепла воздуха;
- грунтов;
- подземного, открытого незамерзающего водоема;
- сточной и сбросовой воды;
- воздушной среды;
- сбрасываемого тепла какого-либо технологического предприятия.

Для выбора любых источников энергии в требуемом количестве, конечно, нужна электроэнергия. Однако, полученная тепловая энергия по своему количеству в 7 раз выше затраченной электрической. Необходимо учитывать, что, устанавливая тепловые насосы, нужно утеплить здание и вставить оконные блоки, с пониженной теплопроводностью, что позволит избежать лишних тепловых потерь. Это значительно сократит расходы на работу и пусковую наладку оборудования.

Тепловой насос – это устройство, которое переносит тепловую энергию от источника к теплоносителю. Различают несколько видов тепловых насосов.

- 1) Тепловые насосы типа вода-вода (рисунок 2).

Эти устройства могут удовлетворить внутренние нужды в обогреве и охлаждении помещений. В качестве тепловой энергии

в данной тепловой насосной установке применяются воды замкнутого цикла или грунтовые незамерзающие.

Тепловые насосы типа вода-вода ориентированы на теплопередачу от грунтовых вод (жидкой среды) к теплоносителю. Для того чтобы удовлетворить потребность в горячей воде, могут быть задействованы 20-25 % мощности насоса.

Насос такого типа бывает:

- вертикальным;
- горизонтальным.

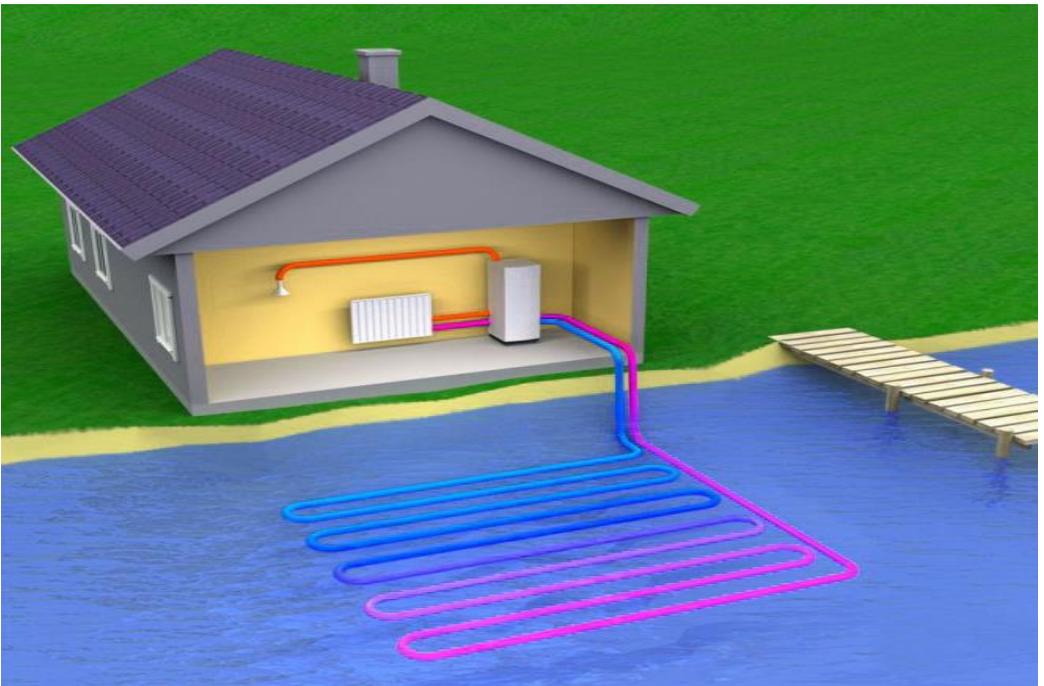


Рисунок 2 – Тепловой насос типа вода-вода

Теплообменник теплового насоса устанавливается прямо на дно, который закрепляется с помощью груза.

2) Отбор тепла от грунта (рисунок 3).



Рисунок 3 - Тепловой насос, отбирающий тепло от грунта

При применении грунта в качестве теплового источника трубопровод закапывают в землю ниже уровня замерзания грунта на 30 – 50 сантиметров, но на практике размеры глубины могут достигать до 2 метров и больше. По трубопроводу должен циркулировать антифриз. Устанавливая тепловой насос грунт-вода, лучше всего использовать такой участок, где грунт влажный. Если же он сухой, то контур делается длиннее.

Самыми дорогими и эффективными являются те, в которых предусмотрен отбор тепла от такого грунта, где температура в течение года не меняется. Эта глубина составляет несколько метров. Тогда работа установки совершенно не зависит от погоды. Наполняется скважина грунтовыми водами естественным путем, и к теплоносителю вода от грунта проводит тепло. Оно также

приходит от грунтовых вод и недр земли.

3) Воздушные тепловые насосы. Источником энергии в тепловом насосе воздух-воздух является он сам. Тепловая энергия, взятая из наружного воздуха, передается непосредственно в помещение. Тепловой воздушный насос - прекрасное дополнение к электрической системе обогрева, где уменьшаются затраты на электроэнергию и стоимость самого насоса.

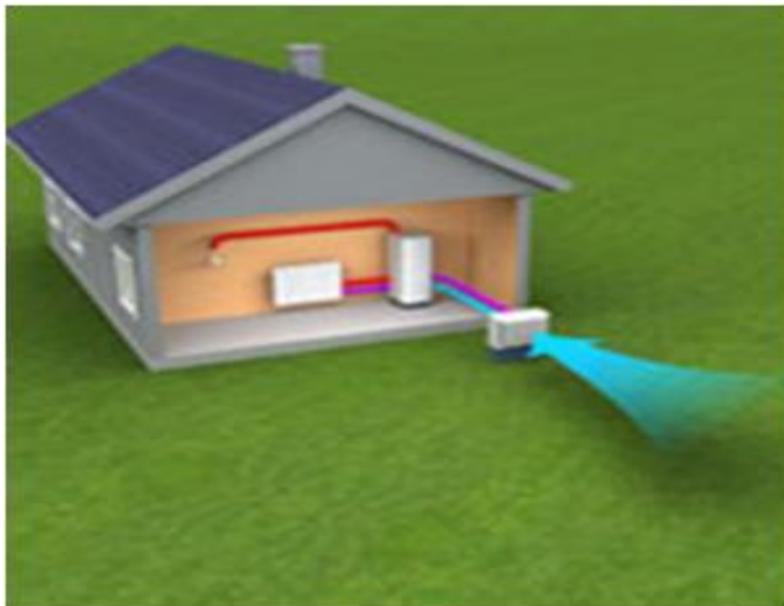


Рисунок 4- Воздушные тепловые насосы

4) Тепловые насосы воздух-вода.

Эти конструкции имеют 26 модификаций. Тепловой насос воздух-вода может обеспечить прогревание и кондиционирование помещения. Это устройство обеспечивает охлаждение при температуре воздуха до -15°C , при этом прогревая и согревая воду для необходимых нужд до 55°C .

Для подогрева воды применяется, с точки зрения экологии,

следующие энергии:

- солнечное излучение;
- электричество;
- воздушная теплота.

Сами тепловые насосы воздух-вода безопасны в использовании, так как нет выделений газа, паров и т.д.

Основной особенностью этого теплового устройства является то, что для него не нужна укладка горизонтального грунтового коллектора либо дорогостоящее бурение скважины. Этот тепловой насос берет тепло из воздуха, преобразует его и отдает отопительной системе дома.

Интерес к использованию экономных систем отопления обусловлен не только кризисными явлениями в экономике, но в большей степени ограниченными запасами классических энергоносителей, таких как уголь, газ, нефть. Преобразование электричества в тепло также не эффективно.

Альтернативным вариантом является использование в качестве главного агрегата отопительной системы теплового насоса. Он позволяет отбирать тепло из воздуха, воды или грунта и передавать его в отопительную систему.

1.4 Схема системы жизнеобеспечения дома при помощи теплового насоса и принцип его работы

Тепловой насос - это современный и высокотехнологичная машина для отопления и кондиционирования воздуха [3]. Промышленные тепловые насосы отводят тепловую энергию от окружающей среды: грунта, воды и воздуха для теплоснабжения

населённых пунктов: городов, прибрежных районов и др.

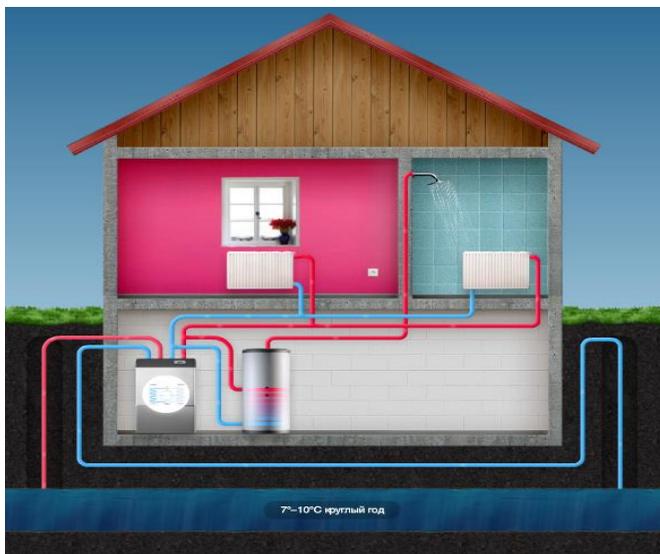


Рисунок 5- Общая схема системы жизнеобеспечения дома при помощи теплового насоса

Принцип работы бытового теплового насоса достаточно прост. Его суть сводится к работе наиболее важной детали — компрессора. Тепловой насос сжимает рассеянное тепло (т.н. низкопотенциальное) с помощью компрессора. Таким образом, тепловая энергия прохладной воды или воздуха за счет более компактного объема имеет более высокую концентрацию и, следовательно, температуру.

Рассмотрим пример: один литр воды с температурой в 1 °С — это приблизительно 4.192 кДж тепла. Эту же тепловую энергию, 4.192 кДж тепла, имеет 100 грамм воды с температурой 10 °С.

Это объясняет высокий КПД теплового насоса. Если теп-

ловой насос обеспечивает горячую воду с температурой 60°C , то это не значит что он просто нагрел ее электричеством на 50°C . Тепловой насос тратит электроэнергию только на сжатие и перенос тепла, а само по себе тепло – бесплатное. Таким образом, тепловые насосы дают 10 кВт тепла, затратив 2-3 кВт/час электроэнергии.

То есть принцип работы теплового насоса - это цикл Карно, а когда тепловой насос работает на кондиционирование – обратный цикл Карно.

Внутренний контур тепловых насосов состоит из следующих компонентов:

- 1) конденсатор;
- 2) капиллярная трубка;
- 3) испаритель;
- 4) компрессор, работающий от электрической сети.

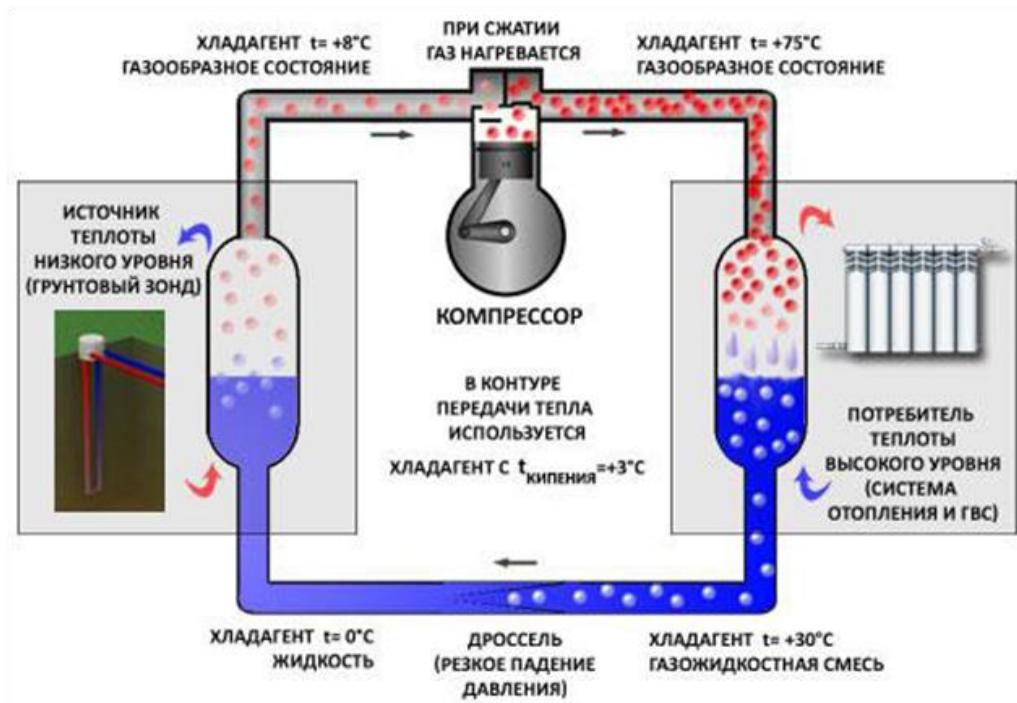


Рисунок 6 -Схема внутреннего контура теплового насоса

Хладагент под высоким давлением через капиллярное отверстие попадает в испаритель, где за счёт резкого уменьшения давления происходит процесс испарения. При этом хладагент отбирает тепло у внутренних стенок испарителя, а испаритель в свою очередь отнимает тепло у земляного или водяного контура, за счёт чего он постоянно охлаждается. Компрессор вбирает хладагент из испарителя, сжимает его, за счёт чего температура хладагента резко повышается и выталкивает в конденсатор. Кроме этого, в конденсаторе, нагретый в результате сжатия хладагент отдает тепло (температура 85-125 градусов Цельсия) отопительному контуру и переходит в жидкое состояние. Процесс повторя-

ется постоянно. Когда температура в доме достигает необходимого уровня, электрическая цепь размыкается терморегулятором и тепловой насос перестает работать. Когда температура в отопительном контуре падает, терморегулятор вновь запускает тепловой насос. Таким образом, хладагент в тепловом насосе совершает обратный цикл Карно.

Тепловые насосы перекачивают рассеянную тепловую энергию земли, воды или даже воздуха в относительно высокопотенциальное тепло для отопления объекта. Примерно 75% отопительной энергии можно собрать бесплатно из природы: грунта, воды, воздуха и только 25% энергии необходимо затратить для работы самого теплового насоса. Попросту говоря, владельцы тепловых насосов экономят 3/4 средств, которые он бы регулярно тратил на дизтопливо, газ или электроэнергию для традиционного отопления.

Тепловые насосы способны не только отапливать помещения, но и обеспечивать горячее водоснабжение, а также осуществлять кондиционирование воздуха. Но при этом в тепловых насосах должен быть реверсивный клапан, именно он позволяет тепловому насосу работать в разных режимах.

1.5 Достоинства и недостатки теплового насоса

В области экономии: тепловой насос использует электрическую энергию намного эффективнее любых котлов, которые сжигают топливо. Коэффициент эффективности тепловых насосов на много больше единицы. Между собой тепловые насосы сравнивают по условной величине - коэффициенту преобразования

тепла (КПТ), также это понятие называется коэффициентом трансформации тепла, мощности, преобразования температур. Он показывает отношение получаемого тепла к затраченной энергии. К примеру, $KПТ = 4,5$ означает, что номинальная (потребляемая) мощность теплового насоса составляет 1 кВт, на выходе мы получим 4,5 кВт тепловой мощности, то есть 3,5 кВт тепла мы получаем из природы;

Повсеместность применения. На нашей планете существует множество рассеянного тепла. Земля и воздух есть везде, также большинство людей не имеют проблем с водой [4]. Именно они мостят в себе тепловую энергию, полученную от солнца. Прибор не сжигает топливо, значит, не образуются вредные окислы типа CO , CO_2 , NO_x , SO_2 , PbO_2 . Поэтому вокруг дома на почве нет следов серной, азотистой, фосфорной кислот и бензольных соединений. На ТЭЦ сокращается расход газа или угля на производство электричества. Применяемые же в тепловых насосах хладоны не содержат хлоруглеродов и озонобезопасны.

Универсальность. Тепловые насосы, оборудованные реверсивным клапаном, работают как на отопление, так и на охлаждение. Тепловой насос может отбирать тепло из воздуха дома, охлаждая его. Летом избыточное тепло можно использовать для подогрева бытовой воды или для бассейна;

В области безопасности: тепловые насосы взрыво- и пожаробезопасны. В процессе отопления отсутствуют опасные газы, открытый огонь или вредоносные смеси. Детали теплового насоса не нагреваются до высоких температур, способных стать причиной пожара. Остановка теплового насоса не приведет к его поломке, им можно смело пользоваться после длительного простоя.

Также исключено замерзание жидкостей в компрессоре или других составляющих частей.

Главным недостатком тепловых насосных установок состоит в том, что они очень дорогостоящие в применении и обслуживании.

2 ТЕПЛОВЫЕ НАСОСЫ И ИХ ВИДЫ

2.1 Виды тепловых насосов

Перед тем как устанавливать систему отопления с тепловым насосом нужно определиться в доступности низкотемпературных источников тепла, технической и экономической целесообразности их использования. Принцип работы теплового насоса при этом остается неизменным, но варианты его построения могут быть разными:

1) геотермальный тепловой насос- это такой тепловой насос, в котором в качестве источника отдачи тепла используются слои грунта ниже зоны промерзания. Отбор тепла осуществляется при помощи горизонтальных или вертикальных трубопроводов, по которым циркулирует жидкость с низкой температурой кипения;

2) водный насос. Источником тепла служат подземные или незамерзающие поверхностные водоемы. В качестве последних могут быть коллекторы сточных вод с крупных предприятий, тепловых электростанций и прочие;

3) «бросовые» тепловые насосы. В качестве низкотемпературного энергоносителя могут использоваться вентиляционные магистрали, канализационные трубопроводы и другие источники тепла, которое не используется для других целей.

Главный узел теплового насоса, содержащий компрессор, испаритель, конденсатор и другие функциональные агрегаты за-

нимает объем примерно, как холодильник. В зависимости от системы отбора тепла и системы отопления, в которую будет осуществляться отдача тепла, конструкция тепловых насосов может существенно отличаться.

При выборе системы отопления тепловым насосом надо учитывать ряд факторов, таких как:

- сезонность проживания;*
- средние температуры в данной местности;*
- тепловые потери отапливаемого объекта;*
- доступность различных источников тепла.*

2.2 Схема теплоснабжения с помощью теплового насоса

Тепловые насосы могут применяться для отопления зданий при круглогодичном кондиционировании воздуха, горячего водоснабжения и технологических нужд различных предприятий. Однако использование тепловых насосов должно быть экономически обосновано.

Схема теплоснабжения с помощью тепловых насосов показана на рисунке 8. Вода из отопительной установки направляется в сетевой насос СН и нагнетается

им для подогрева в конденсаторы К1 и К2, работающие по двухступенчатой

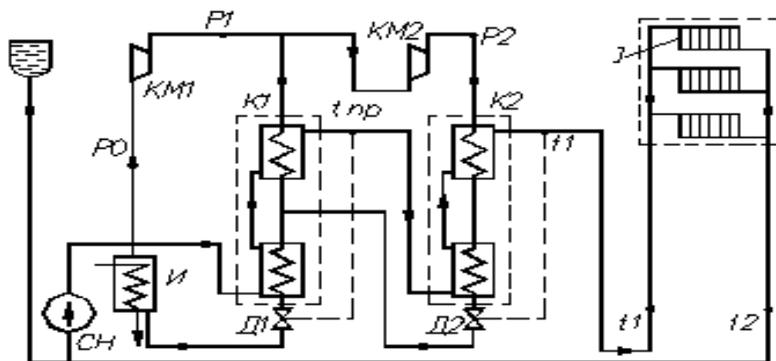


Рисунок 7 - Схема теплоснабжения с помощью тепловых насосов

схеме и включенный последовательно по сетевой воде. В конденсаторе нижней ступени $K1$ вода нагревается от температуры t_2 до некоторой промежуточной температуры t_{np} . После этого вода направляется в конденсатор второй ступени $K2$, где нагревается до температуры t_1 . Далее вода входит в отопительную систему, отдает тепло обогреваемым помещениям и при температуре t_2 вновь поступает в теплонаносную установку.

Тепло от источника низкой температуры (воды или воздуха) передается в

испарителе к кипящему рабочему телу, пар которого при давлении P_0 направляется из испарителя Π в компрессор нижней ступени $KM1$, где сжимается до давления P_{k1} . После компрессора $KM1$, рабочее тело распределяется двумя потоками. Один из них поступает в конденсатор $K1$. Другой поток поступает в компрес-

сор КМ2 и сжимается до давления $P_{к2}$. Из компрессора КМ2 пар рабочего тела поступает в конденсатор К2, где нагревает теплоноситель от промежуточной температуры $t_{пр}$ до температуры t_1 . Из конденсатора К2 жидкое рабочее тело отводится в конденсатор К1 через дроссельный вентиль Д2. Весь поток конденсата поступает из конденсатора К1 через дроссельный вентиль Д1 в испаритель.

Режим работы теплонаносной машины определяется режимом работы отопительной системы. При повышении наружных температур отопительного сезона работает только компрессор нижней ступени КМ1. При этом весь поток рабочего тела после компрессора КМ1 поступает в конденсатор К1, где нагревает теплоноситель до температуры t_1 . Теплонаносная машина регулируется с помощью регулятора температуры, воздействующего на дроссельный вентиль Д1.

При более низких температурах наружного воздуха включается в работу компрессор КМ2 и конденсатор К2 второй ступени. Регулирование работы установки в диапазоне температур от $t_{пр}$ до температуры t_1 осуществляется с помощью регулятора температуры, воздействующего на дроссельный вентиль Д2. Иногда верхняя ступень теплового насоса заменяется электрическим нагревателем, что снижает начальные затраты, но приводит к увеличению расхода электроэнергии.

Для круглогодичного кондиционирования в южных районах (отопление зимой, кондиционирование воздуха летом) распространение получают мелкие теплонаносные автоматизированные агрегаты (кондиционеры с тепловым насосом) для обслуживания небольших многоквартирных домов и отдельных комнат [5]. Эти

установки очень компактны и используют наружный воздух в качестве источника низкой температуры. Реверсирование установки, то есть переход с холодильного режима на теплонаносный осуществляется изменением направления потока рабочего тела. В мелких установках, где в качестве дросселирующего органа служит капиллярная трубка, изменение потока жидкого рабочего тела не вносит каких-либо затруднений в эксплуатацию.

2.3 Область применения различных насосов, компрессоров и нагнетателей

Нагнетатели различных типов находят широкое применение в системах вентиляции и кондиционирования воздуха гражданских, общественных и промышленных зданий, в системах тепло-, газо- и водоснабжения, в различных теплоэнергетических установках, в химической, добывающей, машиностроительной и других отраслях народного хозяйства.

Наибольшее применение получили радиальные (центробежные) нагнетатели со спиральным кожухом общего и специального назначения. Используемые в качестве насосов, они создают напор 3500 м и более и имеют подачу 100000 м³/ч в одном агрегате; при использовании в качестве вентиляторов их подача достигает 1000000 м³/ч в одном агрегате.

Центробежные насосы в системах теплоснабжения применяют для подачи сетевой воды. В теплоэнергетических установках центробежные насосы применяют для питания котловых агрегатов, а также для подачи конденсата в системе регенеративного подогрева питательной воды и циркуляционной воды в конденса-

торы турбин. Центробежные насосы применяют для подачи различных растворов и реагентов в технологических системах производств; в строительной и угольной промышленности - при гидромеханизации разработки грунтов и при гидравлическом способе добычи угля; в торфяной промышленности - для разработки залежей торфа и подачи смеси торфа с водой.

Осевые нагнетатели широко применяются как в качестве вентиляторов, так и в качестве насосов. В последние годы в связи с увеличением мощностей паровых турбин циркуляционная вода в конденсаторы турбин подается быстроходными осевыми насосами.

Вихревые насосы обычно применяют при необходимости создания большого напора или малой подачи. Поэтому их широко применяют в химической промышленности для подачи кислот, щелочей и других химически агрессивных реагентов, где при малых подачах (мала скорость протекания химических реакций) необходимы высокие напоры (велики гидравлические сопротивления реакторов и давления, при которых протекают реакции). Вихревые машины используют в качестве вакуум-насосов и компрессоров низкого давления. В последние годы они находят применение в системах перекачки сжиженного газа.

Поршневые насосы применяют для питания паровых котловых агрегатов малой производительности пара и в качестве дозаторов реагентов для поддержания требуемого качества питательной и котловой воды крупных котловых агрегатов. На тепловых электростанциях поршневые компрессоры служат для обдува поверхностей нагрева котельных агрегатов с целью их очистки от летучих золы и сажи, а также для снабжения воздухом

пневматического инструмента и прессов.

Роторные нагнетатели применяют на электростанциях в системах смазки и регулирования турбин (шестеренные насосы), часто используют в качестве компрессоров.

Струйные нагнетатели получили широкое применение во многих отраслях народного хозяйства: в промышленной теплоэнергетике; в теплофикационных установках - в качестве элеваторов на вводах теплосети в здание; в системах вентиляции цехов химических предприятий, взрыво- пожароопасных помещений - в качестве эжекторов в вытяжных установках; в холодильных установках и для питания паровых котлов в передвижных паросиловых установках - в качестве инжекторов; в установках пневмо- и гидротранспорта, водоснабжения и др. Струйные насосы используют для удаления воздуха из конденсаторов паровых турбин и в абонентских теплофикационных вводах в качестве смесителей прямой и обратной воды.

Центробежные компрессоры являются основным видом компрессорных машин в химическом и металлургическом производствах. Эти машины получают распространение в системах магистрального газоснабжения.

Компрессоры используются практически во всех отраслях народного хозяйства. Сжатый воздух как энергоноситель применяется в различных пневматических устройствах на машиностроительных и металлообрабатывающих заводах, в горнодобывающей и нефтяной промышленности, при производстве строительных и ремонтных работ. Компрессоры необходимы в газовой промышленности при добыче, транспортировке и использовании природных и искусственных газов.

В химической промышленности газовые многоступенчатые компрессоры используются в циклах синтеза химических продуктов при высоком давлении. В последнее время сжатый воздух, получаемый от поршневых компрессоров, находит применение в текстильной промышленности как энергоноситель для проведения ткацкого процесса.

В установках умеренного и глубокого холода, а также в газотурбинных установках компрессоры являются органической частью, в значительной степени, определяющей экономичность агрегатов.

2.4 Тепловые насосы в системах отопления и кондиционирования

Использование геотермальных тепловых насосов для отопления, охлаждения и горячего водоснабжения здания или комплекса зданий.

В соответствии с изображенным принципом действия, тепловой насос берет тепловую энергию, перекачивает ее, и отдает в другое место.

Например, в обычном холодильнике тепло отбирается морозильной камерой из холодильника и выбрасывается в кухню, при этом задняя стенка холодильника становится горячей.

В реверсивных кондиционерах, работающих на отопление, расположенный снаружи здания блок забирает тепло из воздуха и отдает внутреннему блоку в здание. Однако, при температурах около плюс пяти градусов, наружный блок кондиционера начинает покрываться инеем и льдом из конденсата воздуха, что

уменьшает эффективность теплопередачи. Для удаления льда кондиционер начинает периодически отапливать наружный блок электричеством, при этом мощность отопления падает, расход электроэнергии увеличивается. При дальнейшем снижении температуры в итоге эффективность отопления на кондиционерах становится равной нулю, отопление прекращается, кондиционер останавливается.

При отоплении геотермальными тепловыми насосами, по просту говоря, наружный блок вкапывается в землю или погружается в озеро рядом со зданием. При этом, независимо от температуры воздуха во дворе, внешний блок остается свободным от льда, эффективность теплопередачи остается высокой.



Рисунок 8 - Принцип действия отопления геотермальными тепловыми насосами

Принцип действия отопления геотермальными тепловыми

насосами основан на сборе тепла из почвы или воды, и передаче собранного тепла отоплению здания [6]. Для сбора тепла незамерзающая жидкость течет по трубе, расположенной в почве или водоеме, к тепловому насосу. Тепловой насос, подобно холодильнику, отбирает около 8 °С у незамерзающей жидкости, при этом жидкость охлаждается. Жидкость снова течет по трубе, восстанавливает свою температуру и поступает к тепловому насосу. Отобранные тепловым насосом градусы передаются системе отопления и/или на подогрев горячей воды.

Возможно отбирать тепло у подземной воды - подземная вода с температурой около 10 °С подается из скважины к тепловому насосу, который охлаждает воду до +1...+2°С, и возвращает воду под землю.

Тепловая энергия есть у любого предмета с температурой выше минус двести семьдесят три градуса Цельсия - так называемый "абсолютный ноль". То есть тепловой насос может отобрать тепло у любого предмета - земли, водоема, льда, подземной скалы, плывуна и т.д.

В климатических условиях Украины для отопления здания энергия забирается из грунта (или водоема) и отдается в систему отопления здания. Если же здание, например, летом, нужно охлаждать (кондиционировать), то происходит обратный процесс - тепло забирается из здания и сбрасывается в землю (водоем). Тот же тепловой насос может работать зимой на отопление, а летом на охлаждение здания. Очевидно, что тепловой насос одновременно может выполнять вытекающие функции - греть воду для горячего бытового водоснабжения, кондиционировать через фанкойлы, греть бассейн, охлаждать например ледовый каток,

подогревать крыши и дорожки от льда.

3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ ТЕПЛОГО НАСОСА И СРАВНЕНИЕ ИХ С ДАННЫМИ ТЕХПАСПОРТА

3.1 Общие представления о стенде «Тепловой насос СТН 01.00.01»

Основные технические данные:

1. Количество мест для обучаемых, 2 шт;
2. Диапазон измеряемых избыточных давлений, $-0,1...+3$ МПа;
3. Диапазон измеряемых температур, $-55...+125$ °С ;
4. Точность измерения температуры, не хуже 1%;
5. Корректированный уровень звуковой мощности, не более 45 дБА;
6. Потребляемая мощность, не более 100 Вт;
7. Рабочий ток, 0,6 А;
8. Род тока – переменный;
9. Напряжение питания – 220 В;
10. Частота сети 50 Гц;
11. Габаритные размеры 1400*800*1800, мм;
12. Масса не более 90 кг;
13. Хладагент R 134a;
14. Масса хладагента, 0,15 кг.

Состав стенда:

- компрессор "Атлант С-КО-200-Н5-02" поршневого типа, предназначенный для непосредственного сжатия пара, поступающего из испарителя[7];

- конденсатор, представляющий собой змеевик, согнутый из медных трубок. Служит для конденсации горячего пара поступающего из компрессора. При этом будет происходить подогрев воды в емкости, в которой находится сам конденсатор;

- испаритель, представляющий собой змеевик, согнутый из медных трубок. Служит для кипения хладагента, прошедшего через капиллярную трубку.

При этом хладагент забирает тепло из емкости, в которой находится вода;

- фильтр-осушитель, который находится на линии после конденсатора и служит для предотвращения попадания влаги (что может привести к замерзанию воды в отверстии капиллярной трубки) и мелких частиц (которые могут засорить отверстие капиллярной трубки);

- смотровой глазок, который показывает наличие жидкого хладагента и степень содержания влаги в хладагенте при помощи индикатора, расположенного по внутреннему диаметру глазка;

- датчики температуры, которые необходимы для контроля рабочих параметров установки в целом;

- амперметр и вольтметр. Предназначены для измерения электрической энергии, потребляемой электродвигателем компрессора.

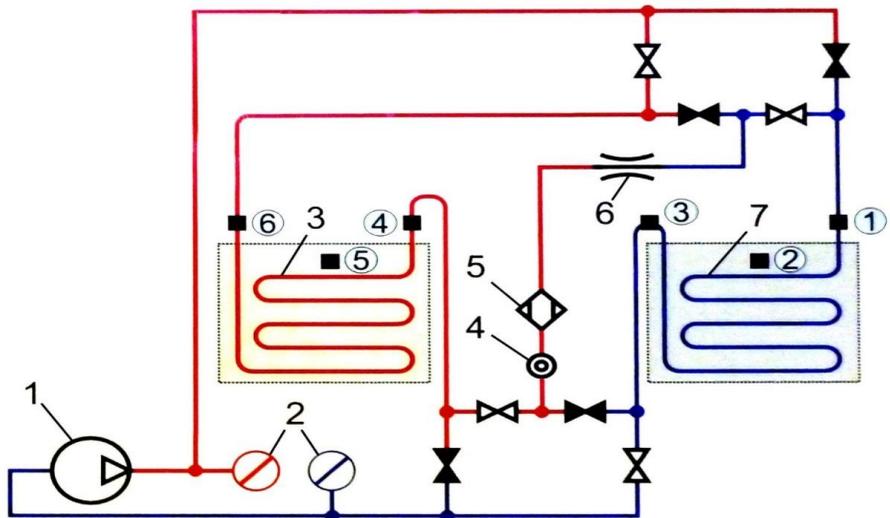


Рисунок 9 - Технологическая схема стенда:

- 1 – компрессор; 2 – манометры ВД и НД; 3 – змеевиковый конденсатор;
- 4 – смотровой глазок; 5 – фильтр-осушитель; 6 – дроссель;
- 7 – змеевиковый испаритель; 8 – датчик температуры на входе в испаритель (№1); 14 – датчик температуры воды охлаждаемой испарителем (№2); 15 – датчик температуры на выходе из испарителя (№3); 16 – датчик температуры на выходе из конденсатора (№4); 17 – датчик температуры воды нагреваемой конденсатором (№5); 18 – датчик температуры на входе в конденсатор (№6).

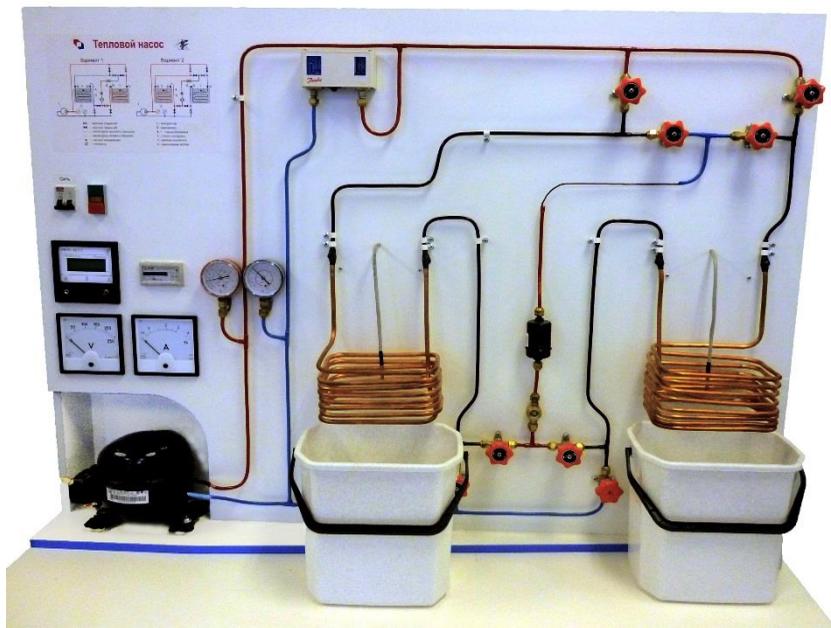


Рисунок 10 - Общий вид стенда «Тепловой насос»



Тепловой насос

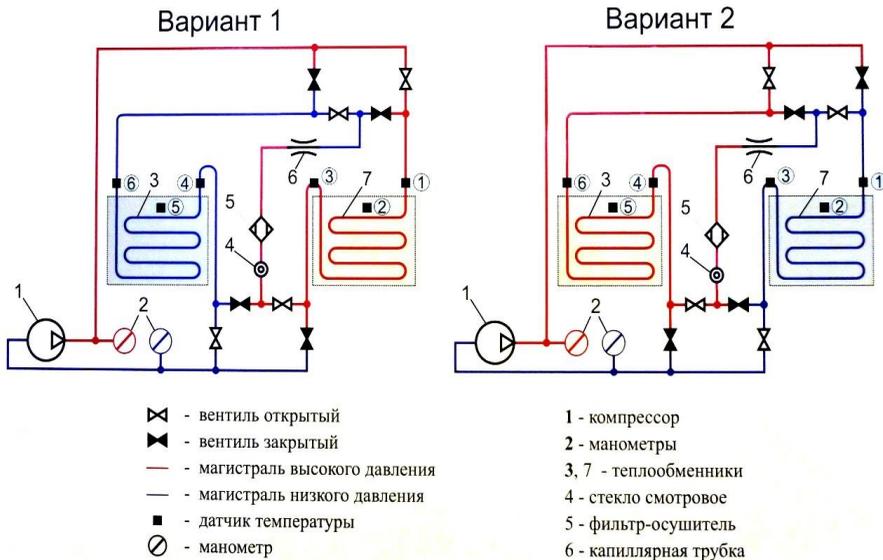


Рисунок 11 –Варианты работы теплового насоса



Рисунок 12 - Внешний вид приборов для измерения давления и температуры хладагента теплового насоса.

3.2 Общие сведения и пример работы теплового насоса

В качестве окружающей среды с низкой температурой (источника низкопотенциального тепла) используют тепловые источники естественного или техногенного происхождения [8]. Источники тепла естественного происхождения: океаны, реки, природные водоемы, грунтовые воды, грунт и т.п. имеют температуру от +2 до +15 °С. Источники тепла техногенного происхождения: воды промышленных стоков, очистных сооружений, воздух вытяжных систем вентиляция и т.п. имеют температуру от +3 до +40 °С. Все эти источники имеют такое тепло, которое не может быть напрямую (непосредственно) использовано для теплоснаб-

жения населённых мест.

Согласно прогнозам Мирового энергетического комитета (МИРЭК) к 2020 г. 75 % теплоснабжения (коммунального и производственного) в развитых странах будет осуществляться с помощью тепловых насосов.

К преимуществам теплового насоса можно отнести:

- экономичность. Низкое энергопотребление достигается за счет высокого КПД (от 300% до 800%) и позволяет получить на 1 кВт фактически затраченной энергии 3–8 кВт тепловой энергии или до 2,5 кВт мощности по охлаждению на выходе;

- экологичность. Экологически чистый метод отопления и кондиционирования как для окружающей среды, так и для людей, находящихся в помещении (рисунок 2). Применение тепловых насосов — это сбережение не возобновляемых энергоресурсов и защита окружающей среды, в том числе и путем сокращения выбросов CO₂ в атмосферу. Тепловые насосы установки, осуществляя обратный термодинамический цикл на низкокипящем рабочем веществе, черпают возобновляемую низко потенциальную тепловую энергию из окружающей среды, повышают ее потенциал до уровня, необходимого для теплоснабжения, затрачивая в 1,2–2,3 раза меньше первичной энергии, чем при прямом сжигании топлива;

- безопасность. Нет открытого пламени, нет выхлопа, нет сажи, нет запаха

 - солярки, исключена утечка газа, разлив мазута.

- надежность. Минимум подвижных частей с высоким ресурсом работы. Независимость от поставки топочного материала и его качества. Защита от перебоев электроэнергии. Практически

не требует обслуживания. Срок службы теплового насоса составляет 15–25 лет;

- комфорт. Тепловой насос работает бесшумно (не громче холодильника), а

зависимая от погоды автоматика и мультizonальный климатический контроль

создают комфорт и уют в помещениях;

- гибкость. Тепловой насос совместим с любой циркуляционной системой отопления, а современный дизайн позволяет устанавливать его в любых помещениях;

- широкий диапазон мощностей (от долей до десятков тысяч киловатт).

Недостатки:

- использование фреонов;
- очень высокая стоимость оборудования.

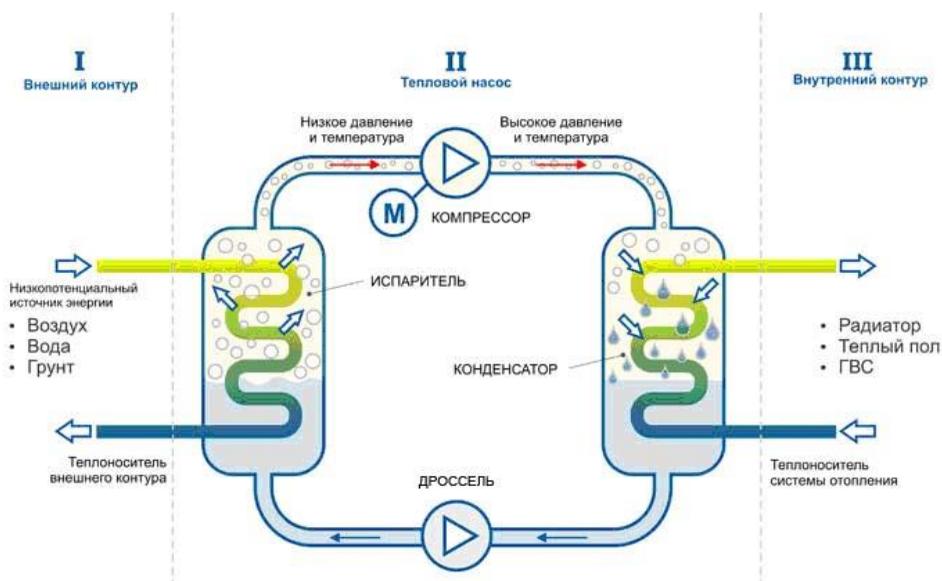


Рисунок 13 - Схема работы теплового насоса с компрессором

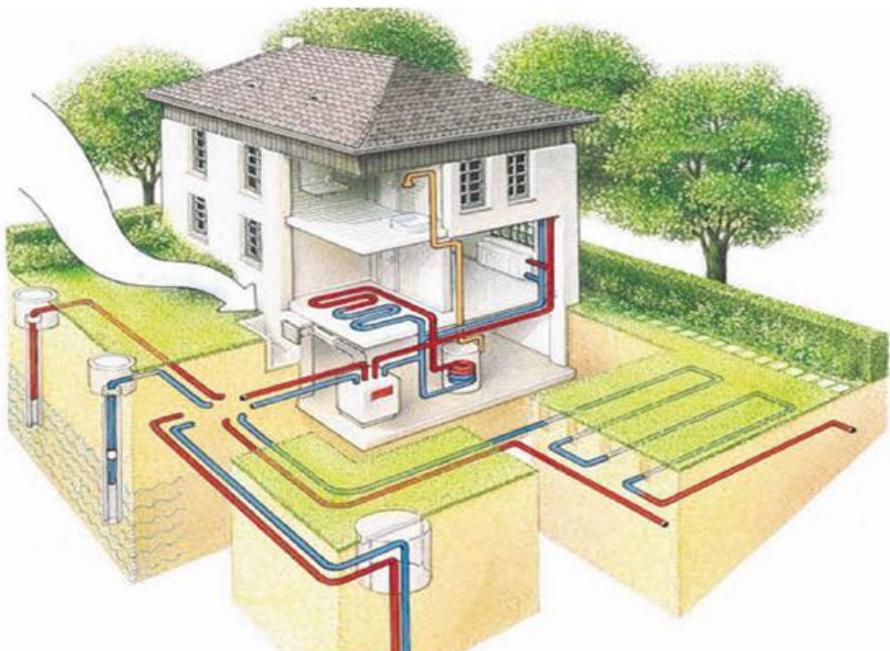


Рисунок 14 - Применение компрессионного теплового насоса в системе жизнеобеспечения жилого дома

Основными элементами установки является конденсатор, дроссель, испаритель, компрессор [9]. В испарителе при низком давлении и, следовательно, при низкой температуре происходит испарение (кипение) фреона за счет тепла низкопотенциального источника тепловой энергии, от которого при этом отбирается количество тепла $q_{т.е.}$ (удельная теплота, отбираемая от холод-

ного источника, кДж/кг (низкопотенциальная теплота). Пары фреона всасываются и сжимаются компрессором, при этом рабочему телу (фреону) сообщается энергия, затрачиваемая компрессором l_k . Пары затем поступают в конденсатор (теплообменник, аналогичный испарителю), где фреон конденсируется при более высоком давлении, создаваемым компрессором, а, следовательно, при более высокой температуре. При конденсации отбирается тепло от рабочего тела. Это производится теплоносителем [10]. Теплоноситель отбирает от холодного источника тепла тепло q_i , теплота, приходящаяся на единицу массы, передаваемая горячему источнику, кДж/кг (теплота, передаваемая в систему отопления помещения). Жидкий фреон затем поступает в дроссель, в котором давление резко снижается. В испаритель фреон поступает с низким давлением, и цикл повторяется [11].

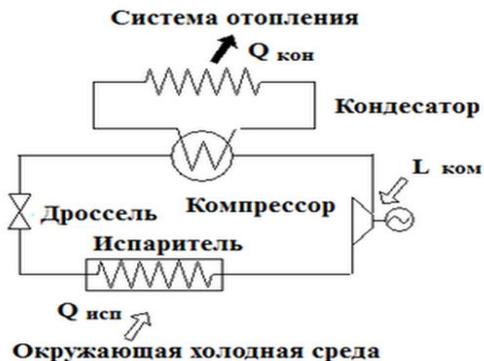


Рисунок 15 - Рабочий цикл теплового насоса. Закон сохранения и превращения энергии, определяющий принципы работы насоса.

3.3 Методика термодинамического расчета теплового насоса.

Используя принципиальную схему теплового насоса, р-і диаграмму холодильного агента R134а и таблицу теплофизических свойств, можно определить следующие эксплуатационные параметры теплового насоса:

Определяемый параметр	Формула
Удельная холодопроизводительность теплового насоса, кДж/кг	$q = i_7 - i_6$
Массовый расход хладагента, кг/с	$\dot{m} = \dot{Q} / q$
Удельная работа компрессора, кДж/кг	$l = i_2 - i_1$
Полезная (действительная) мощность компрессора, Вт	$N_{ПОЛЕЗН} = l \cdot \dot{m}$
Сила эл. тока, А	I
Эл. напряжение, В	U

Потребляемая мощность компрессора, Вт	$N_{ПОТР} = I \cdot U$
КПД компрессора	$\eta = N_{ПОЛЕЗН} / N_{ПОТР}$
Степень повышения давления в компрессоре	$\pi = p_2 / p_1$
Холодильный коэффициент теплового насоса	$\varepsilon = q / l$
Мощность тепла, отводимого от охлаждаемой ёмкости с водой (с испарителем внутри), Вт	$\dot{Q}_{ИСП} = q \cdot \dot{m}$
Мощность тепла, поступающего для нагрева воды в ёмкости (с конденсатором внутри), Вт	$\dot{Q}_{КОНД} = (i_2 - i_4) \cdot \dot{m}$

3.4 Пояснения к расчетам ХМ теплового насоса.

Принципиальная схема теплового насоса и его цикл в системах координат $T-s$ и $p-l$ приведены на рисунке 16.

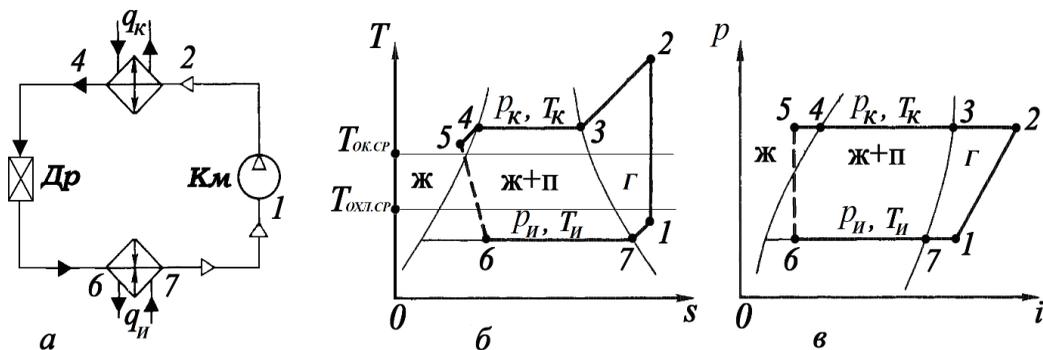


Рисунок 16 - Принципиальная схема теплового насоса (ТН) и циклы его работы:

a — схема ТН; *б* — цикл ТН в $T-s$ координатах; *в* — цикл ТН в $p-i$ координатах

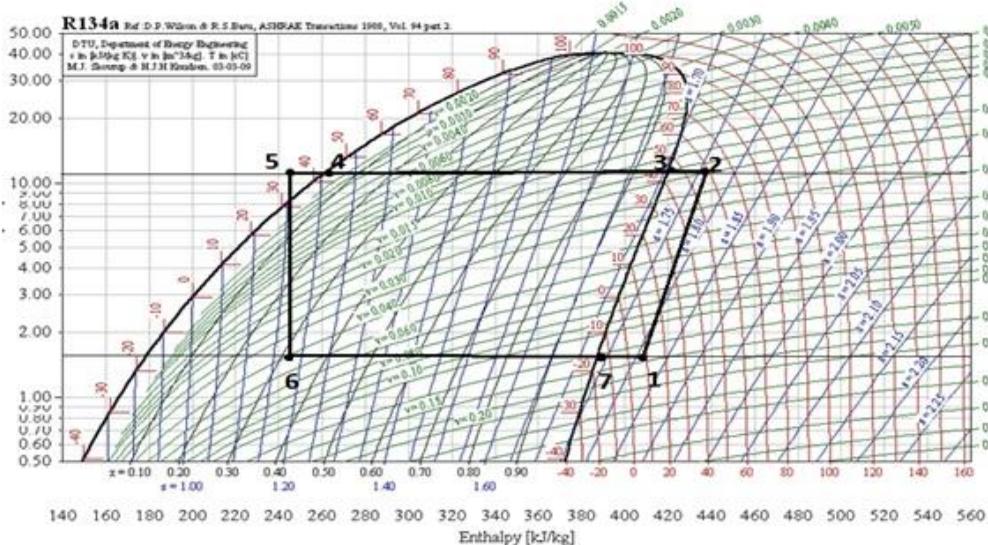


Рисунок 17 –Цикл работы ТН в $p-i$ координатах

3.5 Определение основных параметров теоретического цикла и требуемой объёмной производительности (подачи) компрессора.

Удельная массовая холодопроизводительность q_0 холодильного агента:

$$q_0 = i_7 - i_6 \quad (3.1)$$
$$q_0 = 396 - 259 = 137 \cdot 10^3 \text{ Дж/кг}$$

Удельное количество теплоты, отдаваемое конденсатором в окружающую среду:

$$q_1 = i_2 - i_4 \quad (3.2)$$
$$q_1 = 435 - 266 = 169 \cdot 10^3 \text{ Дж/кг.}$$

Удельное количество низкопотенциальной теплоты, подведенное из окружающей среды к испарителю:

$$q_2 = i_7 - i_6 \quad (3.3)$$
$$q_2 = 396 - 259 = 137 \cdot 10^3 \text{ Дж/кг.}$$

В процессе дросселирования работа не производится, поэтому работа цикла равна работе компрессора.

Удельная работа компрессора:

$$l = i_2 - i_1 \quad (3.4)$$
$$l = 435 - 411 = 24 \cdot 10^3 \text{ Дж/кг.}$$

Холодопроизводительность \dot{Q} теплового насоса:

$$\dot{Q} = N \cdot \varepsilon \cdot \eta \quad (3.5)$$

где

$$N = I \cdot U;$$

$$\varepsilon = \frac{q}{1};$$

$\eta = 0,6$ – КПД для малых компрессоров

$$N = 0,8 \cdot 230 = 184 \text{ Вт}$$

$$\varepsilon = \frac{137}{24} = 5,71$$

$$\dot{Q} = 184 \cdot 5,7 \cdot 0,6 = 629 \text{ Вт.}$$

Теоретический массовый расход хладагента \dot{m}_τ :

$$\dot{m}_\tau = \frac{\dot{Q}}{q_0}, \quad (3.6)$$

где:

$$\dot{Q} = 629 \text{ Вт};$$

$$q_0 = 137 \cdot 10^3 \text{ Дж/кг}$$

$$\dot{m}_\tau = \frac{629}{137 \cdot 10^3} = 0,00459 \text{ кг/с.}$$

Требуемая теоретическая объёмная производительность $\dot{V}_{\text{компрессора}}$:

$$\dot{V} = \frac{\dot{m} \cdot v_1}{\lambda}, \quad (3.7)$$

где $v_1 = 0,15 \text{ м}^3/\text{кг}$; $\lambda = 0,6$ – коэффициент подачи компрессора.

$$\dot{V} = \frac{0,00459 \cdot 0,15}{0,6} = 0,00115 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

Действительный массовый расход хладагента в компрессоре \dot{m}_d :

$$\dot{m}_d = \frac{\lambda \cdot V_{\text{кн}}}{v_1} \quad (3.8)$$

где $V_{\text{кн}}$ -объемная подача которого на 20% больше требуемого \dot{V} , отсюда

$$\begin{aligned} V_{\text{кн}} &= 0,00138 \\ \dot{m}_d &= \frac{0,6 \cdot 0,00138}{0,15} = 0,00552 \text{ кг/с.} \end{aligned}$$

Действительная холодопроизводительность компрессора Q_0 :

$$Q_0 = \dot{m}_d \cdot q_0, \quad (3.9)$$

$$Q_0 = 0,00552 \cdot 137 \cdot 10^3 = 756 \text{ Вт.}$$

3.6 Мощность привода компрессора

Определение теоретической (адиабатической) мощности сжатия N_T :

$$N_T = \dot{m}_d \cdot l \quad (3.10)$$

$$N_T = 0,00552 \cdot 24 \cdot 10^3 = 132 \text{ Вт.}$$

Определение действительной (индикаторной) мощности сжатия N_i :

$$N_i = \frac{N_T}{\eta_i}, \quad (3.11)$$

где η_i - индикаторный КПД (для малых компрессоров $\eta_i = 0,7$)

$$N_i = \frac{132,48}{0,7} = 189 \text{ Вт.}$$

Определение мощности на валу компрессора (эффективная мощность) N_e :

$$N_e = \frac{N_i}{\eta_{\text{мех}}}, \quad (3.12)$$

где $\eta_{\text{мех}}$ - механический КПД компрессора; $\eta_{\text{мех}} = 0,9$

$$N_e = \frac{189,26}{0,9} = 210 \text{ Вт.}$$

Определение электрической мощности $N_э$:

$$N_э = \frac{N_e}{\eta_{эл}}, \quad (3.13)$$

где $\eta_{эл}$ - КПД электродвигателя (для малых компрессоров $\eta_{эл} = 0,85$)

$$N_3 = \frac{210}{0,85} = 247 \text{ Вт.}$$

3.7 Определение количества теплоты, отдаваемое конденсатором и испарителем

Количество теплоты, отдаваемое конденсатором в окружающую среду:

$$Q_1 = q_1 \cdot \dot{m} \quad (3.14)$$

$$Q_1 = 169 \cdot 0,00459 = 777 \text{ Вт.}$$

Количество низкопотенциальной теплоты, подведенное из окружающей среды к испарителю:

$$Q_2 = q_2 \cdot \dot{m} \quad (3.15)$$

$$Q_2 = 137 \cdot 0,00459 = 630 \text{ Вт.}$$

Полезная (действительная) мощность компрессора:

$$N_{\text{ПОЛЕЗН}} = l \cdot \dot{m} \quad (3.16)$$

$$N_{\text{ПОЛЕЗН}} = 24000 \cdot 0,0046 = 110 \text{ Вт.}$$

Потребляемая мощность компрессора:

$$N_{\text{ПОТР}} = I \cdot U \quad (3.17)$$

$$N_{\text{ПОТР}} = 0,8 \cdot 230 = 184 \text{ Вт.}$$

КПД компрессора:

$$\eta = \frac{N_{\text{ПОЛЕЗН}}}{N_{\text{ПОТР}}} \quad (3.18)$$

$$\eta = \frac{110}{184} = 0,60 = 60 \%$$

Степень повышения давления в компрессоре:

$$\pi = \frac{P_2}{P_1} \quad (3.19)$$

$$\pi = \frac{11}{1,8} = 6,1.$$

Полученный КПД совпадает с заданным, значит расчет проведен правильно.

3.8 Холодильный и отопительный коэффициенты теплового насоса

Холодильный коэффициент теплового насоса:

$$\varepsilon = q_2 / l_k = q_2 / (q_1 - q_2) = T_2 / (T_1 - T_2)$$

$$\varepsilon = \frac{q_2}{l} \quad (3.20)$$

$$\varepsilon = \frac{137}{24} = 5,7.$$

Отопительный коэффициент θ равен:

$$\theta = q_1 / l_k = q_1 / (q_1 - q_2) = T_1 / (T_1 - T_2)$$

$$\theta = \frac{q_1}{l} \quad (3.21)$$

$$\theta = \frac{169}{24} = 7,04.$$

Значение отопительного коэффициента должно быть больше единицы, что показывает, что в систему отопления помещения отдано теплоты больше, чем работа компрессора в θ раз, за счет использования низкопотенциальной теплоты наружного воздуха.

3.9 Гидравлический расчет капиллярной трубки

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{\Delta W}{d} + \frac{68}{R_e} \right)^{0,25}$$

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{0,1}{0,8} + \frac{68}{71,2 \cdot 10^3} \right)^{0,25} = 0,064$$

Длина трубки $l = 0,26$ м

Диаметр трубки $d = 0,0008$ м

$$R_e = 71,2 \cdot 10^3$$

Плотность $\rho = 1,2 \cdot 10^3$ кг/м³

Перепад давления на капиллярной трубке:

$$\Delta P = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \rho \cdot \frac{w^2}{2}, \text{ Па} \quad (3.22)$$

Определение скорости движения жидкого фреона внутри капиллярной трубки:

$$\dot{m}_d = \frac{V}{\rho} \quad (3.23)$$

$$\dot{V} = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot W}{4} \quad (3.24)$$

Из уравнения (3.23) и (3.24) получаем формулу:

$$W = \frac{\dot{m}_2 \cdot 4}{\pi \cdot d^2 \cdot \rho} \cdot \frac{m}{c} \quad (3.25)$$

$$W = \frac{0,00552 \cdot 4}{3,14 \cdot (0,0008)^2 \cdot 1,2 \cdot 10^3} = 9,21 \cdot \frac{m}{c}$$

$$\Delta P = 0,064 \cdot \frac{0,260}{0,0008} \cdot 1,2 \cdot 10^3 \cdot \frac{(9,21)^2}{2} = 1058304 \text{ , Па}$$

Перепад давления на капиллярной трубке примерно равен разности давлений нагнетания и всасывания в компрессоре. Отсюда вывод, что расчет произведен правильно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лобачев П. В. Насосы и насосные станции: Учебник для техникумов. - 2-е изд., перераб., и доп. - М.: Стройиздат. 1983. - 191 с.
2. Поляков В. В., Скворцов Л. С. Насосы и вентиляторы: Учебник для вузов. - М.: Стройиздат. 1990. - 336 с.
3. Скворцов Л. С. и др. Компрессорные и насосные установки: Учебник для средних профессионально-технических училищ / Л. С. Скворцов, В. А. Рачицкий, В. Б. Ровенский. - М.: Машиностроение, 1988. - 264 с.
4. Везиришвили О. Ш. Энергосберегающие теплонасосные системы тепло- и хладоснабжения / О. Ш. Везиришвили, Н. В. Меладзе. - М.: МЭИ, 1994.
5. Проценко В. П. Проблемы использования теплонасосных установок в системах централизованного теплоснабжения // Энергетическое строительство. - 1994. - № 2.

6. Кутателадзе С. С. Справочник по теплопередаче / С. С. Кутателадзе, В. М. Боришанский. – М.: Госэнергоиздат, 1959. – 415 с.

7. Явнель Б.К. «Курсовое и дипломное проектирование холодильных установок и систем кондиционирования воздуха». – 3-е издание, - М.: Агропромиздат, 1989.

8. Лебедев П. Д. Теплообменные, сушильные и холодильные установки: Учебник для студентов технических вузов / П. Д. Лебедев. – Изд. 2-е, перераб. – М., «Энергия», 1972. – 320 с.

9. Справочник по теплообменникам. Т. 1: Пер. с англ.; Под ред. Б. С. Петухова, В. К. Шикова. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 560 с.

10. Васильев Г. П. Теплонасосные системы теплоснабжения (ТСТ) для потребителей тепловой энергии в сельской местности // Теплоэнергетика. – 1997.

11. Пустовалов Ю. В. Экономические вопросы развития теплонасосных станций / Ю. В. Пустовалов // Теплоэнергетика. – 1986. – № 3. – С. 24–28.