

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
профессионального образования
ТЮМЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра «Промышленная теплоэнергетика»

КУРСОВАЯ РАБОТА

на тему: «Тепловые насосы»

Выполнил: студент
1 курса группы ПТм15-1

Лукьяненко М.В.

Проверил: д.т.н., профессор
Бакшеев В.Н.

Тюмень 2015

СОДЕРЖАНИЕ

1.	ТЕРМИНОЛОГИЯ	3	
2.	ВВЕДЕНИЕ	4	
3.	АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ	8	
4.	ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ	9	
5.	УСТРОЙСТВО ТЕПЛООВОГО НАСОСА	10	
6.	ПРИНЦИП РАБОТЫ ТЕПЛООВОГО НАСОСА	11	
7.	ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА	12	
8.	КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ	14	
9.	РАСЧЕТНАЯ ЧАСТЬ	25	
10.	ВЫВОДЫ	30	
11.	СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	31	
12.	ПРИЛОЖЕНИЕ 1	32	
13.	ПРИЛОЖЕНИЕ 2	33	

1. ТЕРМИНОЛОГИЯ

1. **Тепловой насос** — устройство для переноса тепловой энергии от источника низкопотенциальной тепловой энергии (с низкой температурой) к потребителю (теплоносителю) с более высокой температурой. Термодинамически тепловой насос аналогичен холодильной машине. Однако если в холодильной машине основной целью является производство холода путём отбора теплоты из какого-либо объёма испарителем, а конденсатор осуществляет сброс теплоты в окружающую среду, то в тепловом насосе картина обратная. Конденсатор является теплообменным аппаратом, выделяющим теплоту для потребителя, а испаритель — теплообменным аппаратом, утилизирующим низкопотенциальную теплоту: вторичные энергетические ресурсы и (или) нетрадиционные возобновляемые источники энергии.
2. **Тепловой насос абсорбционного типа (АТН)** - перерабатывающие вторичное тепло.
3. **Тепловой насос компрессионного или парокомпрессионного типа (ПТН)** – перерабатывающие механическую и электрическую энергию.
4. **Геотермальный тепловой насос** – «выбирает» тепло из воды или земли.
5. **Воздушный тепловой насос** - «выбирает» тепло из окружающего воздуха.

2. ВВЕДЕНИЕ

Энергетический кризис 1973 и 1978 годов дает толчок к развитию систем отопления, охлаждения и горячего водоснабжения с применением тепловых насосов. В начале своего развития первые тепловые насосы устанавливались в домах высшей ценовой категории, но за счет применения современных технологий, тепловые насосы стали доступны многим людям. Тепловые насосы устанавливаются в новых зданиях или заменяют устаревшее оборудование с сохранением или незначительной модификацией прежней системы отопления.

На сегодняшний день тепловые насосы широко применяются во всем мире. Количество тепловых насосов, работающих в Японии, Европе и США исчисляется десятками миллионов штук. Производство тепловых насосов в каждой стране, прежде всего, ориентировано на удовлетворение потребностей внутреннего рынка. В Японии и США наибольшее применение получили тепловые насосы класса «воздух-воздух» для отопления и летнего охлаждения воздуха. В Европе — тепловые насосы класса «вода-вода» и «вода-воздух». В США исследованиями и производством тепловых насосов занимаются более шестидесяти фирм. В Японии ежегодный выпуск тепловых насосов превышает 500 тысяч единиц. В Германии ежегодно вводится более 5 тысяч установок. В Швеции и странах Скандинавии эксплуатируются, в основном, крупные тепловые насосные установки. В Швеции уже к 2000 году эксплуатировалось более 110 тысяч теплонасосных станций (ТНС), 100 из которых имели мощность около 100 МВт и выше. Наиболее мощная ТНС-320 МВт работает в Стокгольме.

Краткая история:

1834 - Джекоб Перкинс строит первую компрессионную холодильную машину на эфире.

1846 – Французские инженеры Фердинанд и Эдмонд Карре сконструировали охлаждающую машину, работающую по принципу сжатия и расширения воздуха (патент США 8080 от 1851 года).

1850 - Эдмонд Карре разрабатывает абсорбционную холодильную машину.

1852 - Уильям Томсон (лорд Кельвин) предложил практическую теплонасосную систему, названную им умножителем тепла.

1873 - Карл фон Линде строит в Мюнхене первую компрессионную холодильную машину на аммиаке.

1912 - в Швейцарии выдан патент на технологию тепловых насосов.

1926 – группа исследователей во главе с Томасом Мидгли приступает к разработке нетоксичных и негорючих хладагентов, которые в будущем будут использоваться в циклах парокомпрессионных тепловых насосов, призванных заменить аммиак.

1930– начинается промышленное производство фреона (R12) - хладагента, вплоть до конца XX века работавшего в бытовых холодильниках и тепловых насосах.

Свое развитие теплонасосные технологии получают с 30-х годов XX века, когда в Англии был создан первый тепловой насос, предназначен для отопления и горячего водоснабжения с использованием

тепла окружающего воздуха. После этого начались работы в США, приведшие к созданию нескольких демонстрационных тепловых насосов.

1930 - введен в работу первый тепловой насос в США, который был установлен в здании объединенной штаб-квартиры освещения в New Haven, штат Connecticut.

1939 – введен в работу первый тепловой насос большой мощности в Европе в Цюрихе.

Этот тепловой насос использовал тепло речной воды, ротационный компрессор и хладагент. Созданная установка для отопления обеспечивала отопление ратуши водой с температурой 60°C при мощности 175 кВт. Вместе с тепловым насосом использовалась система аккумулирования тепла с электронагревателем для покрытия пиковой нагрузки по отоплению.

В летние месяцы этот тепловой насос большой мощности работал на охлаждение. К 1945 году создано ещё 9 подобных тепловых насосов с целью сокращения потребления угля в стране. Некоторые из них успешно проработали более 30 лет.

1945 – первый английский тепловой насос большой мощности для крупного здания объемом 14200 м³ был установлен в городе Норвич. Источником тепла этого теплового насоса была речная вода. Температура подаваемой воды для отопления составляла 50°C. Хладагентом была двуокись серы, коэффициент преобразования созданного теплонасоса (COP) составлял около 3.

1952 - в США выпущено 1000 тепловых насосов.

1954 - вдвое больше.

1957 - в 10 раз больше.

1963 - выпущено уже 76000 тепловых насосов, причем большинство из них установлено в южных штатах, где требуется летнее охлаждение и отопление зимой. Такие тепловые насосы успешно конкурируют с обычными котлами, дающими только тепло.

3. АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ

В настоящее время перед Россией, как и перед всем миром, остро стоят две взаимосвязанные проблемы: экономия топливно-энергетических ресурсов и уменьшение загрязнения окружающей среды. В условиях истощения запасов органического топлива и резкого повышения затрат на освоение новых месторождений становится все более нерациональным сжигание угля, газа и нефтепродуктов в миллионах маломощных котельных и индивидуальных топочных агрегатах, вызывающее большое количество вредных выбросов в атмосферу и существенное ухудшение экологической обстановки в городах и мире.

Одним из эффективных путей экономии топливно-энергетических ресурсов является использование экологически чистых нетрадиционных возобновляемых источников энергии, и в первую очередь, солнечной энергии, аккумулированной в грунте, водоемах, воздухе. Однако периодичность действия и низкий температурный потенциал этих источников не позволяют использовать их энергию для отопления зданий непосредственно, без преобразования. В качестве преобразователей тепловой энергии от энергоносителя с низкой температурой к энергоносителю с более высокой температурой используются тепловые насосы. Применение тепловых насосов позволит экономить до 70% традиционных энергетических ресурсов.

Ежегодно количество производимых тепловых насосов увеличивается от 30 до 40%, а в некоторых странах до 100%.

4. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ

Цель работы:

Изучить актуальность применения тепловых насосов для Тюмени.

Задачи:

1. Провести сравнительный анализ экономической эффективности применения теплового насоса для отопления индивидуального жилого дома по сравнению с другими (традиционными) источниками тепла.
2. По результатам расчетов сделать выводы об экономической целесообразности применения тепловых насосов в существующих условиях рынка теплоэнергетики.

5. УСТРОЙСТВО ТЕПЛООВОГО НАСОСА

Тепловой насос состоит из следующих элементов:

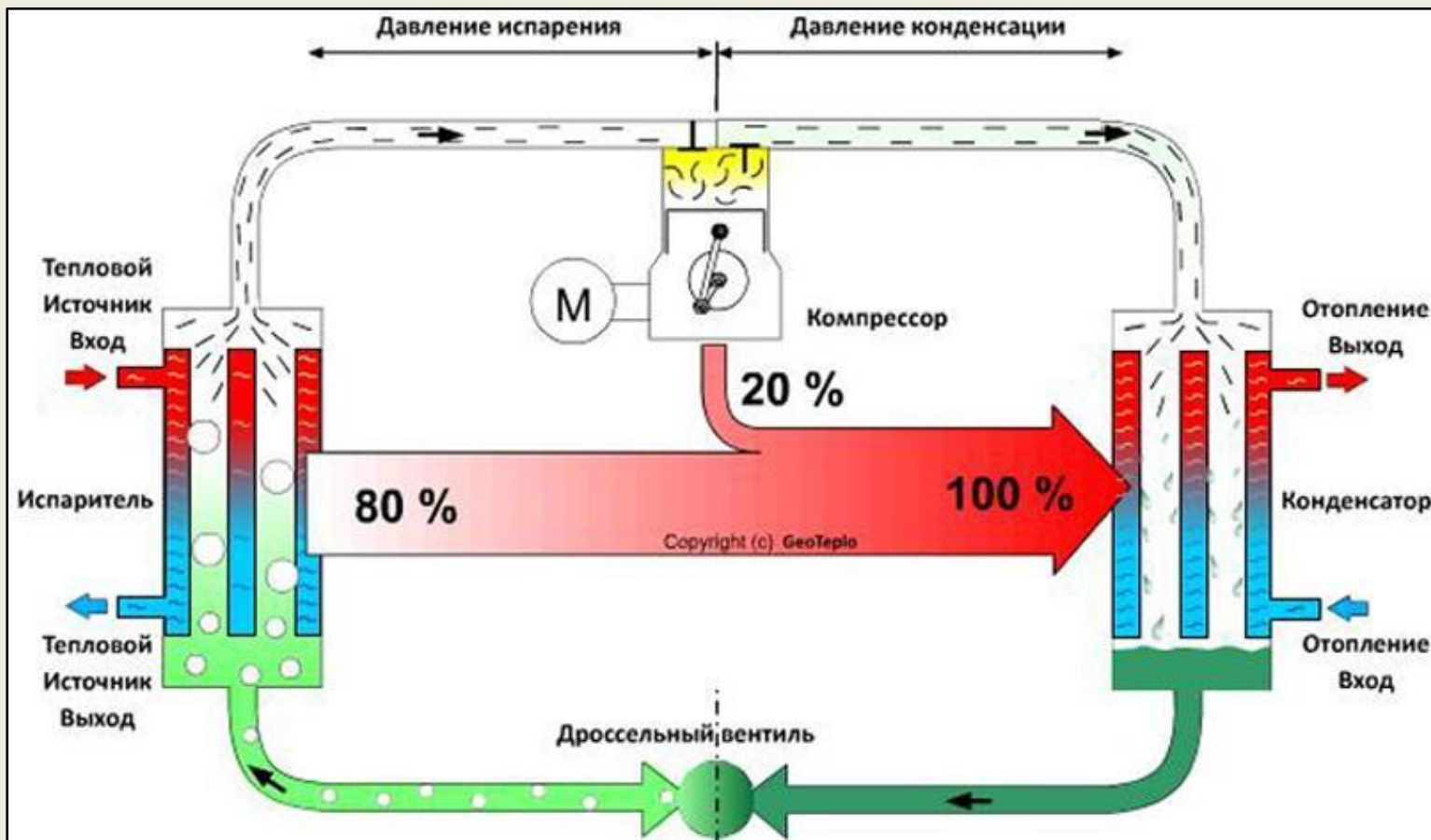


Рис. 1 Схема теплового насоса.

6. ПРИНЦИП РАБОТЫ ТЕПЛОВОГО НАСОСА

Теплоноситель нагревается на несколько градусов, проходя по внешнему контуру, уложенному в землю или водоём. Внутри теплового насоса теплоноситель, проходит через теплообменник (испаритель) и отдает собранное тепло внутреннему контуру теплового насоса. Внутренний контур теплового насоса заполнен хладагентом, имеющим низкую температуру кипения, который, проходя через испаритель, превращается из жидкого состояния в газообразное при температуре -5°C и низком давлении. Из испарителя газообразный хладагент попадает в компрессор, там он сжимается до высокого давления и высокой температуры. Затем горячий газ поступает во второй теплообменник - конденсатор, где происходит теплообмен между горячим газом и теплоносителем из обратного трубопровода системы отопления дома. Хладагент, отдавая тепло системе отопления, охлаждается и превращается в жидкость, а теплоноситель системы отопления поступает в отопительные приборы. И цикл повторяется снова.

7. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА

Потребителями тепла, производимого тепловым насосом являются все потребители, которым необходима температура воды до 55 градусов, а именно: отопление, горячее водоснабжение, подогрев воды в бассейны, кондиционирование.

К основным технологиям применения тепловых насосов относятся: отопление тепловыми насосами и утилизация теплоты.

Отопление тепловыми насосами

Системы отопления, основанные на применении теплового насоса, отличаются экологической чистотой, так как работают без сжигания топлива и не производят вредных выбросов в атмосферу. Кроме того, они характеризуются экономичностью: при подводе к тепловому насосу, например, 1 кВт электроэнергии, в зависимости от режима работы и условий эксплуатации он дает до 3-5 кВт тепловой энергии. Среди достоинств теплового насоса указывают снижение капитальных затрат за счет отсутствия газовых коммуникаций, увеличение безопасности жилища благодаря отсутствию взрывоопасного газа, возможность одновременного получения от одной установки отопления, горячего водоснабжения и кондиционирования. Системы отопления бывают моновалентные и бивалентные. Различие между двумя видами состоит в том, что моновалентные системы имеют один источник тепла, который полностью покрывает годовую потребность в отоплении. Бивалентные системы имеют в

составе два источника тепла для расширения диапазона рабочих температур. Например, тепловой насос работает до температуры наружного воздуха -25°C , а при дальнейшем понижении температуры в дополнение к нему подключается газовый или жидкотопливный котел для компенсации снижения производительности теплового насоса.

Утилизация теплоты

Дополнительный энергетический и экономический эффект применения тепловых насосов основан на создании контура утилизации (использования) тепла в рамках единой системы охлаждения, отопления и нагрева воды.

8. КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ

8.1. Классификация тепловых насосов.

Наибольшую популярность получили следующие два вида моделей:

Таблица 1

Абсорбционного типа (АТН)			Компрессионного или парокомпрессионного типа (ПТН)							
	По виду абсорбента		По типу компрессорного оборудования							
	водоаммиачные	солевые (АБТН)	спиральные		поршневые		винтовые		турбокомпрессорные	
	По виду трансформации		По виду привода компрессора							
	повышающие	понижающие	электроприводные		с приводом от двигателя внутреннего сгорания		газовой или паровой турбины			
	По виду потребляемой высокотемпературной теплоты АТН подразделяются на машины		По низкотемпературному источнику теплоты и нагреваемой среде подразделяются на типы							
	с паровым (водяным) обогревом	с огневым обогревом на газообразном или жидком топливе	Геотермальные		Водяные		Воздушные			
	По термодинамическому циклу подразделяются		грунт-вода	грунт-воздух	вода-вода	вода-воздух	воздух-вода	воздух-воздух		
	одноступенчатые	двухступенчатые								

8.2. Абсорбционный тепловой насос (АТН)

АТН модели имеют достаточно сложное устройство. Они передают полученную тепловую энергию непосредственно при помощи источника. Их эксплуатация значительно снижает материальные затраты на расходующиеся электричество и топливо.

В водоаммиачных машинах абсорбентом является вода, а хладагентом аммиак. В солевых машинах абсорбентом является водный раствор соли, а хладагентом вода. В мировой практике в настоящее время применяют преимущественно солевые ТН, в которых абсорбентом является водный раствор соли бромистого лития ($\text{H}_2\text{O}/\text{LiBr}$) – АБТН.

В АБТН процессы переноса теплоты совершаются с помощью совмещенных прямого и обратного термодинамического циклов, в отличие ПТН, в которых рабочее тело (хладон) совершает только обратный термодинамический цикл.

Основное применение АТН и АБТН – технологическое оборудование в промышленном производстве в которых вторичное тепло, вырабатываемое другими источниками, расходуется в никуда.

Главное достоинство абсорбционных тепловых насосов — это возможность использовать для своей работы не только дорогое электричество, но и любой источник тепла достаточной температуры и мощности — перегретый или отработанный пар, пламя газовых, бензиновых и любых других горелок — вплоть до выхлопных газов и солнечной энергии.

К основным недостаткам относятся: высокая стоимость и габариты оборудования.

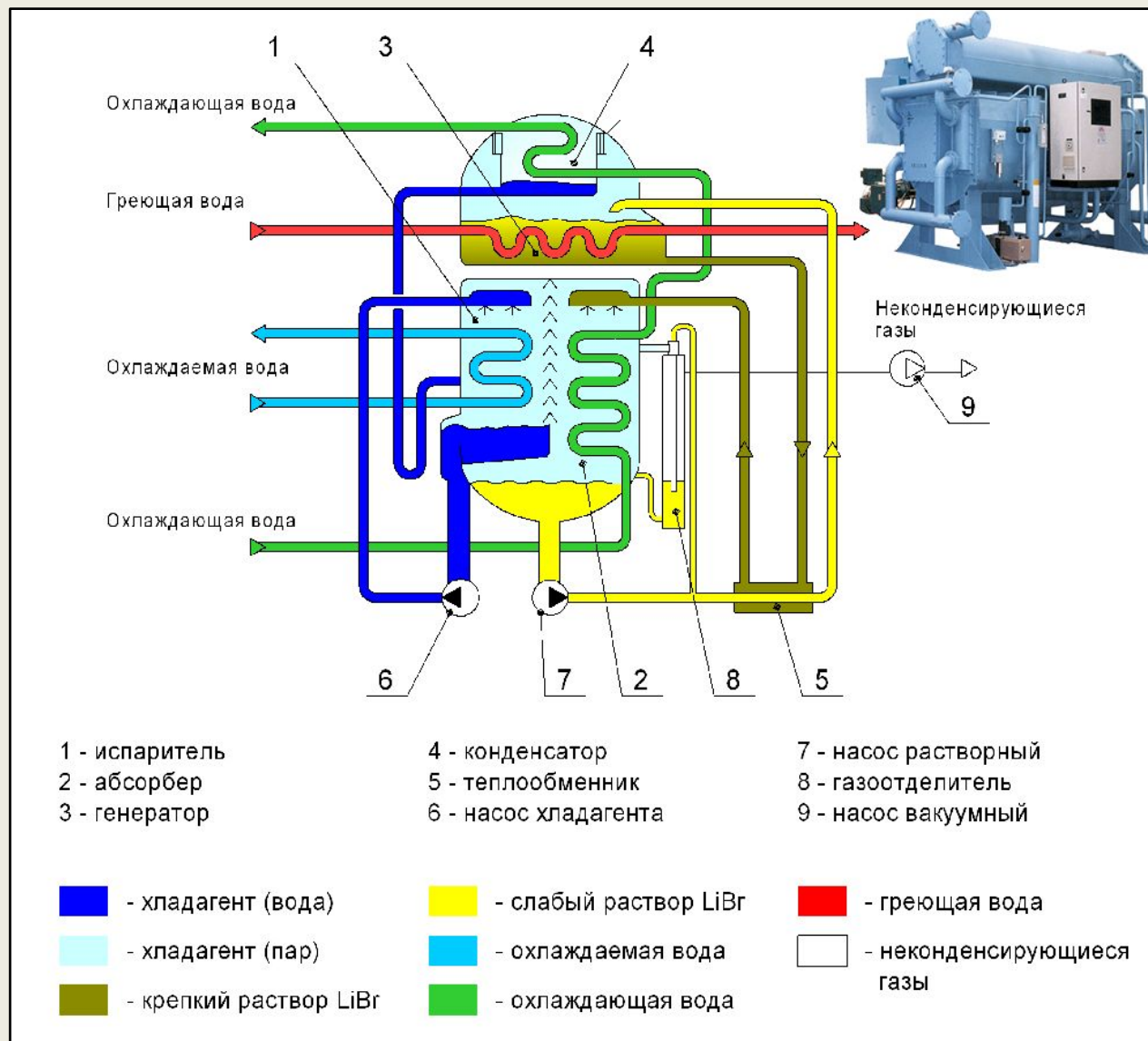


Рис. 2 Схема абсорбционного теплового насоса.

8.3. Компрессионного или парокомпрессионного типа (ПТН)

8.3.1. ПТН для переноса тепла потребляют энергию (механическую и электрическую).

В качестве рабочего тела в данных машинах используются хладоны – преимущественно фторхлорсодержащие углеводороды, Т.Н. фреоны.

Простое устройство открытых систем позволяет нагревать проходящую внутри воду, которая в последствии вновь поступает в землю. Идеально она работает при наличии неограниченного объема чистого жидкого теплоносителя, который после потребления не наносит вред среде.



Фото. 1 Общий вид внутреннего блока бытового ПТН.

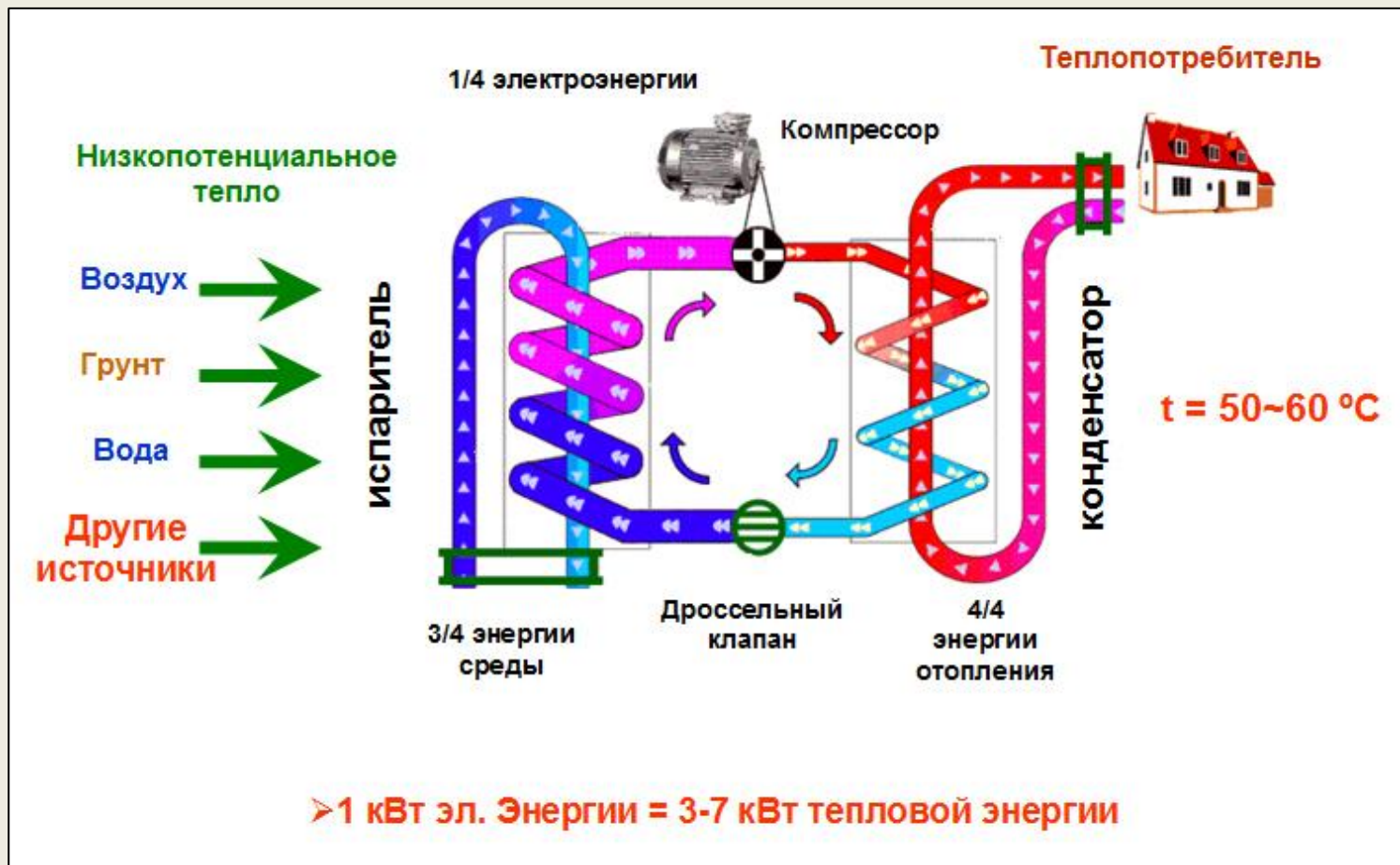


Рис. 3 Схема компрессионного теплового насоса.

8.3.2. Геотермальные тепловые насосы: грунт-вода

Преимущества.

- Тепло из грунта можно получать на протяжении всего года, так как на глубинах от 1 м температура практически не меняется. В качестве носителя тепла используют «рассол» - незамерзающую жидкость, которая циркулирует по пластиковым трубам.
- Высокая эффективность для охлаждения и отопления.
- Возможность обеспечения теплом/холодом зданий различного размера.
- Возможность автоматизированной безаварийной работы без дополнительного контроля.

Недостатки.

- Один из недостатков системы «грунт-вода» - необходимость большой площади для достижения желаемой эффективности. При недостаточной площади возможно замораживание грунта, что приведет к невозможности эксплуатации системы.
- Коллектор можно располагать в вертикальном положении, но потребуются скважина глубиной до 200 м.
- Сравнительно низкая температура нагреваемой воды, в большинстве не более $+50\text{ }^{\circ}\text{C} \div +60\text{ }^{\circ}\text{C}$.

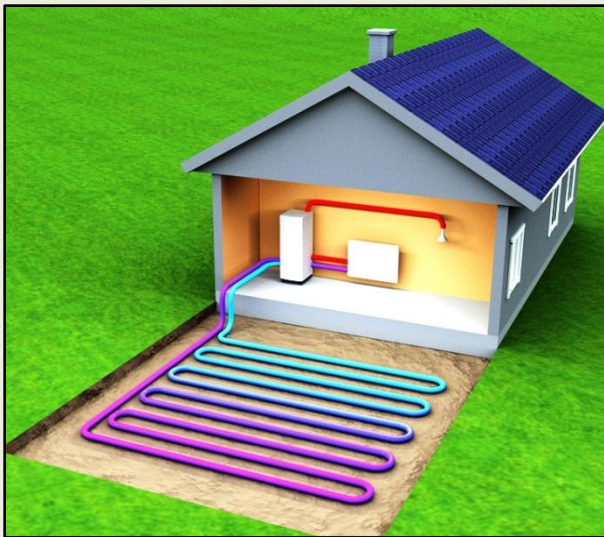


Рис. 4. Вертикальный коллектор.

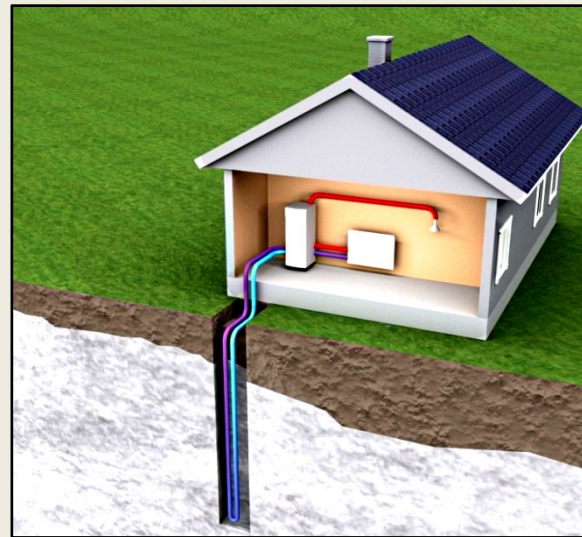


Рис. 5. Горизонтальный коллектор.



Фото. 2. Вертикальный коллектор.



Рис. 3. Горизонтальный коллектор.

8.3.3. Водяные тепловые насосы: вода-вода

Низко потенциальная энергия может выбираться из следующих источников:

- Грунтовые вода.
- Водоемы открытого типа.
- Сточные промышленные воды.

Преимущества.

Высокая эффективность по сравнению с другими системами ПТН.

Возможность переключения с режима отопления зимой на режим кондиционирования летом

Недостатки.

- Большую стоимость установленного оборудования.
- Необходимость сложного и дорогого монтажа внешних подземных или подводных теплообменных контуров
- Сравнительно низкая температура нагреваемой воды, в большинстве не более $+50\text{ }^{\circ}\text{C} \div +60\text{ }^{\circ}\text{C}$, причём, чем выше температура нагреваемой воды, тем меньше эффективность и надёжность теплового насоса.
- Не выгодна в использовании для домов, расположенных далеко от водоемов или грунтовых вод.

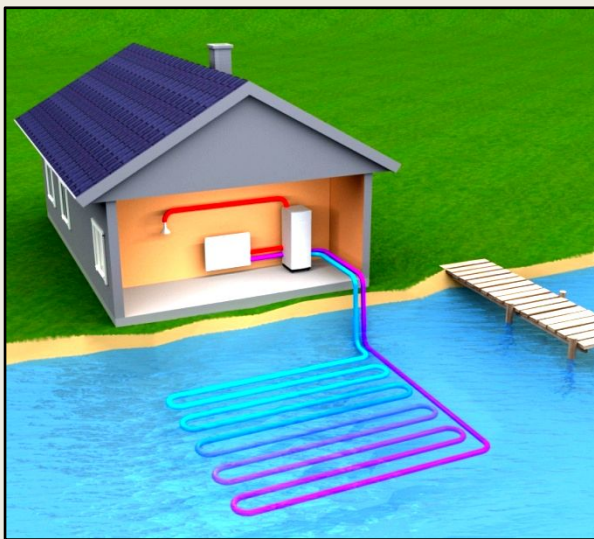


Рис. 6. Отбор тепла из водоема.

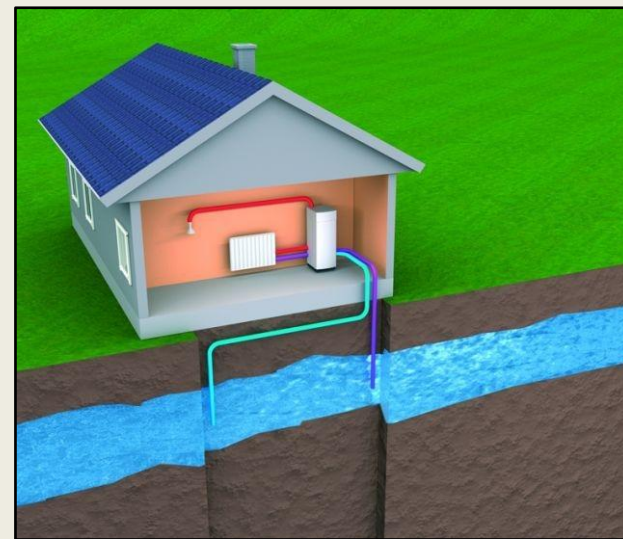


Рис. 7. Отбор тепла из подземных вод.



Фото. 4. Отбор тепла из водоема.



Рис. 5. Отбор тепла из подземных вод.

8.3.4. Воздушные тепловые насосы: воздух-вода, воздух-воздух

Преимущества.

- Является одним из наиболее универсальных вариантов.
- Отсутствует необходимость создания внешнего контура, большая экономия первоначальных затрат.
- Минимальные сроки монтажа и ввода в эксплуатацию;
- Возможность быстрой модернизации системы подачи воздуха в помещения, изменение места установки распределителей (фанкойлов);
- Возможность переключения в летнее время на режим кондиционирования;
- Дистанционное управление тепловым режимом и потоками воздуха.

Недостатки.

Низкая эффективность при низкой температуре наружного воздуха.

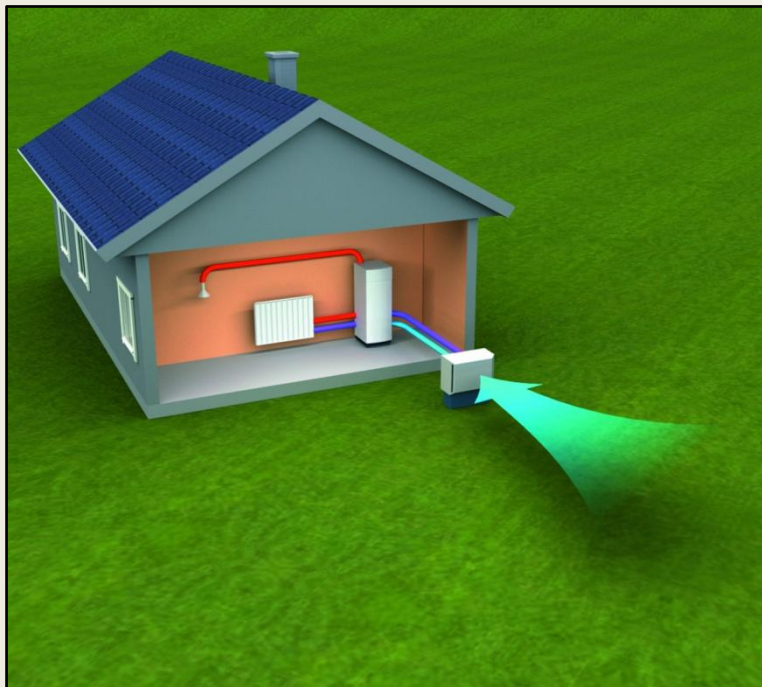


Рис. 8. Отбор тепла из воздуха.



Фото. 6. Вид наружного блока ТН.

9. РАСЧЕТНАЯ ЧАСТЬ

С целью приближения к простому циклу Карно, а фактически – с целью создания максимально эффективного в работе теплового насоса, необходимо стремиться к подводу тепла при условиях, близких к изотермичным. Для этого подбираются рабочие тела, изменяющие агрегатное состояние при необходимых температурах и давлениях. Они поглощают тепло при испарении и отдают при конденсации. Эти процессы образуют изотермы цикла. Сжатие пара хладагента, как правило, требует чтобы пар был сухим, что обусловлено особенностями механики большинства компрессоров тепловых насосов. Попадание жидкости вместе с паром на вход компрессора может повредить его клапаны, а поступление большого количества жидкого хладагента в компрессор Т.Н. может вообще вывести его из строя (если не приняты предупредительные меры). Цикл теплового насоса с механической компрессией пара и его изображение в p - V (давление - удельный объем) диаграмме показаны на рисунке ниже.

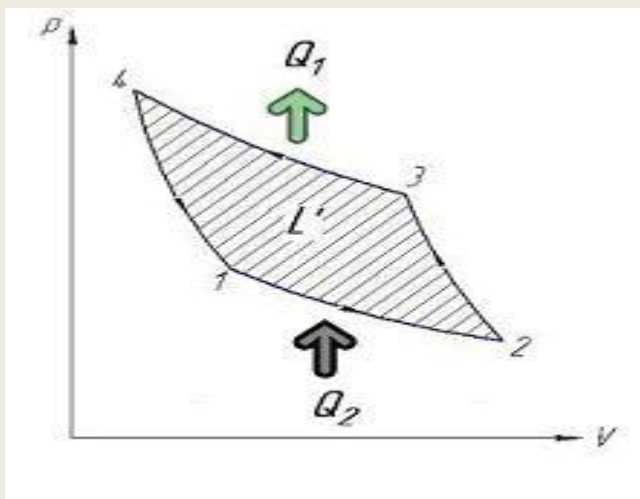


Рис. 9. Термодинамический цикл теплового насоса в p - V диаграмме.

- 1-2 – отбор теплоты от низкотемпературного источника, хладагент закипает;
- 2-3 – процесс сжатия хладагента в компрессоре;
- 3-4 – передача теплоты в систему отопления и конденсация хладагента в конденсаторе;
- 4-1 – процесс дросселирования жидкого хладагента к начальным условиям.

Рассмотрим цикл теплового насоса только с сухой компрессией пара и расширением в дроссельном клапане. Этот клапан представляет собой регулируемое сопло или капиллярную трубку. Отсутствие расширительной машины в цикле означает, что некоторое количество полезной работы теряется и COP теплового насоса уменьшается. Как правило, это оправдано тем, что стоимость расширительной машины не окупается полученной на ней работой. Процесс расширения в сопле необратим. Обычно он рассматривается как адиабатический, т.е. проходит без подвода или отвода тепла при расширении рабочего тела.

Теперь продемонстрируем цикл теплового насоса иным способом, с помощью широко применяемой на практике для парокompрессионных циклов диаграммы «давление – удельная энтальпия» ($\ln p$ - h), представленной на рисунке ниже.

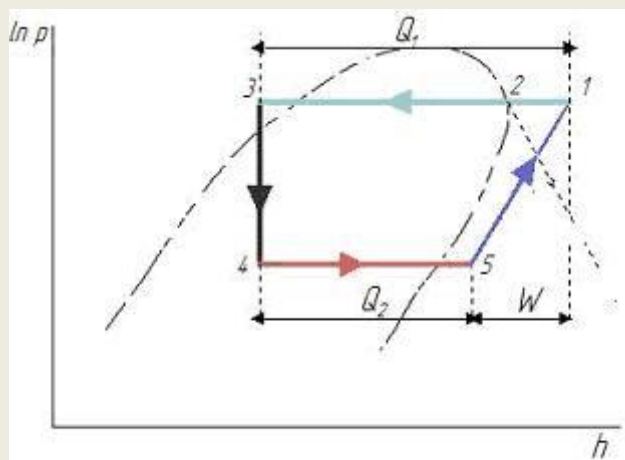


Рис. 9. Термодинамический цикл теплового насоса в $\ln p$ - h диаграмме.

Сжатое рабочее тело под высоким давлением покидает компрессор в точке 1. Поскольку на вход в компрессор поступал только сухой пар и благодаря наклону линий постоянной энтропии, в точке 1 пар перегрет. Прежде чем пар начнет конденсироваться в точке 2, его следует охладить при постоянном давлении. Между точками 2 и 3 происходит конденсация при постоянной температуре (если нет утечек пара). Отсюда видно, что теплообменный аппарат, в котором происходит конденсация (конденсатор), всегда должен быть рассчитан на прием перегретого пара. Адиабатическое расширение изображается в p — h диаграмме вертикальной прямой 3—4, и в этом одна из причин удобства такой диаграммы. Для расчета цикла необходимо знать состояния рабочего тела только на входе в компрессор теплового насоса и выходе из него. Остальное изображается прямыми линиями. Испарение происходит при постоянном давлении и температуре между точками 4 и 5. Следует отметить, что расширение происходит фактически в смеси жидкости и пара. Входящая в испаритель смесь содержит значительную долю пара, иногда до 50% по массе, и эта доля рабочего тела, естественно, уже не участвует в процессе испарения и поглощения тепла. Между точками 5 и 1 происходит изоэнтропийное сжатие сухого пара. На практике его реализовать нельзя, но здесь рассмотрен идеализированный цикл. Его эффективность меньше, чем у цикла Карно, из-за необратимости процесса расширения.

Рассмотрим еще одно важное преимущество p — h диаграммы. Поскольку на горизонтальной оси откладывается энтальпия, она допускает прямой отсчет Q_1 , Q_2 и W . Поэтому из диаграммы очевидно простое соотношение $Q_1 = Q_2 + W$. В то же время данная диаграмма позволяет сразу оценить значение COP. Очевидно, что оно будет тем выше, чем меньше интервал давлений 3-4 (или, что то же самое, чем меньше интервал температур). Для получения высокого COP значение Q_1 должно быть велико, а W (работа сжатия) должна быть мала. Также при взгляде на p — h диаграмму любого из хладагентов можно быстро оценить его пригодность к работе.

Расчет затрат на монтаж и эксплуатацию отопительных установок мощностью 25 кВт/час.

Таблица 1.

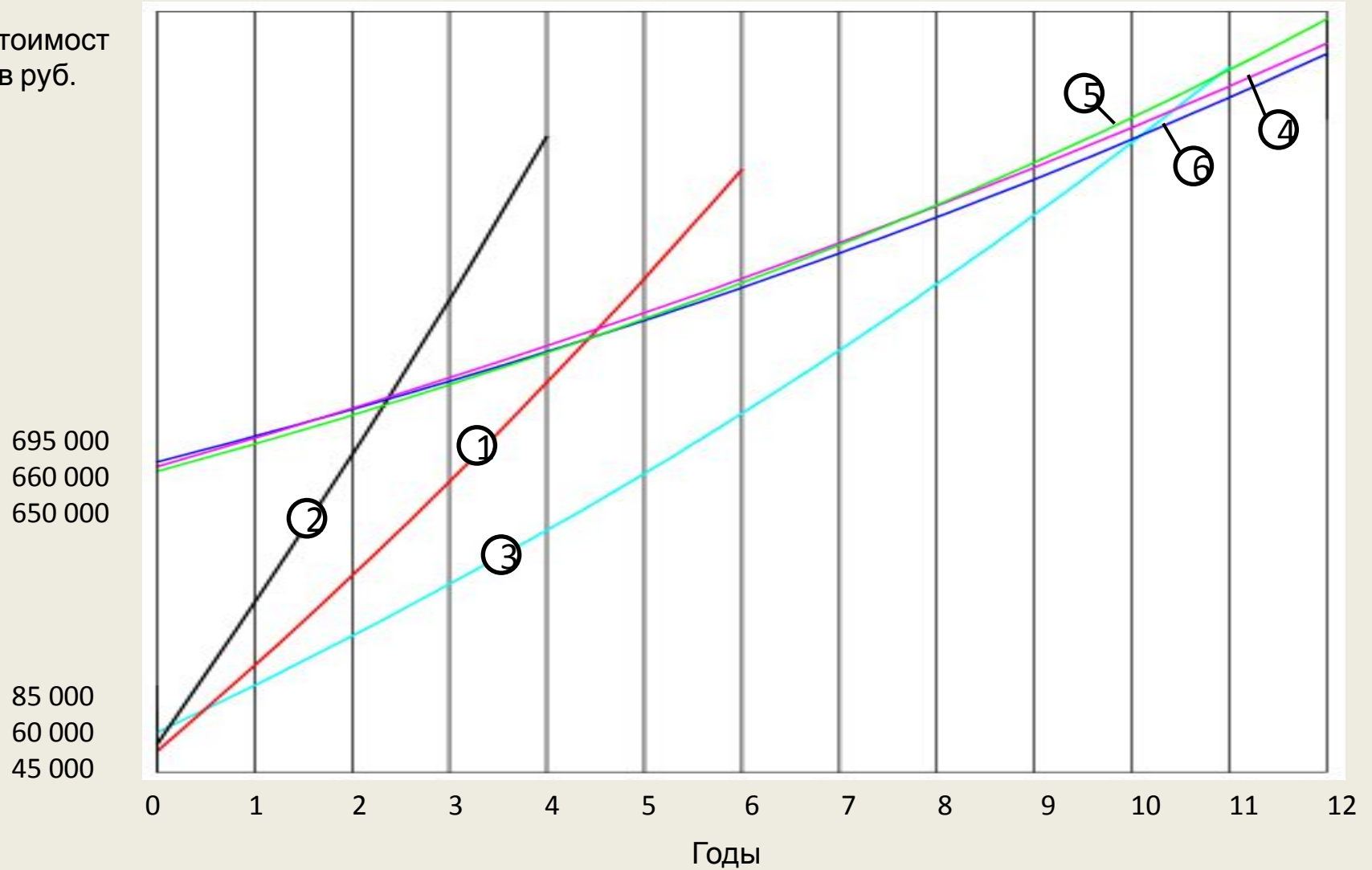
	Газ 25 кВт	Дизель 25 кВт	Электрокотел 25кВт	ПТН 25 кВт (COP=3,3) 7,6 кВт	ПТН 19кВт (COP=3.3) 5,8 кВт +Электрокотел 6 кВт	ПТН 19кВт (COP=3.3) 5,8 кВт +Газ 6 кВт
Оборудование, руб.	35 000	35 000	35 000	280 000+ 180 000= 460 000	250 000+180 000 +10 000=430 000	250 000+180 000+ 15 000=445 000
Установка, руб.	50 000	25 000	10 000	200 000	200 000+10 000 =210 000	200 000+50 000 =250 000
Итого: затраты на монтаж, руб.	85 000	60 000	45 000	660 000	650 000	695 000
Расход топлива за 1 год	20 000 м3	10 000 л	140 000 кВт	42 000 кВт	41 000+7 000 =48 000 кВт	Эл. - 41 000 кВт Газ - 840м3
Стоимость эксплуатации в год, руб. Газ – 4,75 руб/м3 ДТ – 30 руб/л Эл. эн. – 1,3 руб/кВт	20 000x4,75 =95 000	10 000x30 =300 000	140 000x1.3 =182 000	42 000x1.3 =54 600	48 000x1.3 =62 400	(41 000x1.3) +(840x4,75) =57 300

В таблице приведены результаты расчетов затрат на отопление и подогрев горячей воды индивидуального жилого дома общей площадью 150 м2 (г. Тюмень) с учетом данных [12] и [13].

В расчет приняты цены по состоянию на 4 квартал 2015 г.

График затрат на монтаж и эксплуатацию.

Стоимость
в руб.



1 – электрокотел; 2 – дизельный котел; 3 – газовый котел; 4 – ПТН; 5 – ПТН+электрокотел; 6 – ПТН+газовый котел

10. ВЫВОДЫ

1. На основании выполненных расчетов установлено, что экономический эффект от применения тепловых насосов для отопления и нагрева горячей воды в г. Тюмени по отношению к другим источникам тепла наступает:
 - газ – не менее 10-и лет;
 - электричество – не менее 4,5 лет;
 - дизельное топливо – не менее 2,3 года.

2. Из-за высокой стоимости первоначальных капитальных вложений применение тепловых насосов, прежде всего, целесообразно в негазифицированных районах, так как в газифицированных районах экономический эффект от применения тепловых насосов в существующих экономических условиях достигается через значительный срок, что усложняет внедрение таких систем.

11. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 54865— 2011. Теплоснабжение зданий. Методика расчета энергопотребности и эффективности системы теплогенерации с тепловыми насосами.
2. Нормирование топливно-энергетических ресурсов и регулирование режимов электропотребления (сборник инструкций). М., Недра, 1983. – 224 с.
3. Наладка водяных систем централизованного теплоснабжения: Справочно-методическое пособие. – М.: Энергоиздат, 1983. – 204 с.
4. Рей Д., Макмайл Д. Тепловые насосы: Пер. с англ. – М.: Энерго-кздат, 1982.–224 с
5. Теплотехника: Учебник для студентов вузов/ А.М. Архаров, С.И. Исаев, И.А. Кожинов и др.; Под общей ред. В.И. Крутова. – М. Машиностроение, 1985. – 432 с.
6. ЭСКО [Электронный ресурс] – <http://esco.agency/>
7. ЭНЕРГОСВЕТ [Электронный ресурс] – <http://www.energsovet.ru/>



Рисунок Ж.1 — Районирование территории Российской Федерации по эффективности использования низкопотенциальной тепловой энергии поверхностных слоев Земли для теплоснабжения. (Изолинии на карте — значения коэффициента трансформации энергии для «горизонтальных» ГТСТ, численно равные количеству полезной тепловой энергии, вырабатываемой ГТСТ на 1 кВт энергии, затрачиваемой на ее привод, в долях единицы)



Рисунок Ж.7 — Районирование территории Российской Федерации по эффективности использования низкопотенциальной тепловой энергии поверхностных слоев Земли для теплоснабжения. (Изолинии на карте — доля тепловой энергии, вырабатываемой в течение года ПД в суммарных годовых энергозатратах системы «горизонтальная» ГТСТ+ПД, %)