

«Болашаққа қадам – ҚУАТ КӨЗДЕРІНІҢ БАЛАМАСЫ» балалардың
Республикалық зерттеу жұмыстарының байқауы

Номинация: «Қуат көздерін сақтайтын технологиялар»

Жас тобы: 15-17



Жұмыс тақырыбы: «Технология Умный дом: тепловые насосы»

Дайындаған: Серік Ануар Жанболатұлы, Астана қаласы № 66 мектеп –
лицейінің 10 сынып оқушысы. 07.09.2000 ж. anuar.serik.2012@mail.ru

Жетекшісі: Мусабаева Әлия Ғайсақызы, № 66 мектеп-лицейінің физика
пәнінің мұғалімі.

Содержание

1. аннотация.....	
2. Введение.....	
3. основная часть.....	
5. История.....	
5. Умный дом в России и в Европе.....	
6. Термодинамическая эффективность тепловых насосов.....	
7. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПТН.....	
8. Условный КПД тепловых насосов.....	
9. Типы тепловых насосов.....	
10. Типы промышленных моделей.....	
11. Преимущества и недостатки.....	
12. Перспективы.....	
13. Ограничения применимости тепловых насосов.....	
14. Тепловые насосы для отопления дома.....	
15. Экономичность тепловых насосов.....	
16. Геотермальные тепловые насосы.....	
17. Позитивные и негативные стороны применения теплового насоса..	
18. Преимущества тепловых насосов.....	
19. Недостатки.....	
20. Выводы и предложения.....	

АННОТАЦИЯ

Направление «зелёного роста» и низкоуглеродной экономики как инструмента устойчивого развития было заложено в Стратегии развития Казахстана до 2020г, в ГПФИИР, в международных инициативах Казахстана и Главы государства.

Под зелёной экономикой будем понимать отрасли экономики и институциональные механизмы, улучшающие окружающую среду и экологическое качество жизни на экономически выгодной и долгосрочной основе.

К отраслям зелёной экономики традиционно относят устойчивую энергетику, включая ВИЭ, биотопливо, повышение энергоэффективности, ресурсосбережение, переработку отходов, экологическое домостроение и архитектуру, «умные города», торговлю «зелёными» товарами, органическое сельское хозяйство, аквакультуру, устойчивый транспорт, экологический туризм, экосистемные услуги и другие.

Целью работы является комплексное исследование эффективности тепловых насосов нового поколения и разработка научно-практических основ их применения с учетом казахстанских природно-климатических условий.

Решаемые задачи:

- разработка эксергетического подхода к анализу эффективности ТН, как термодинамических систем, в которых в процессе преобразования различных по качеству потоков энергии сопрягаются прямой и обратный термодинамические циклы;
- разработка способов минимизации термодинамических потерь и повышения эффективности циклов ПКТН в условиях больших перепадов температур в испарителе и конденсаторе;
- определение условий и границ энергоэффективного сопряжения ТНУ и традиционных энерго- и теплоисточников;

Актуальность темы. Эффективное замещение с помощью тепловых насосов (ТН) в системах промышленного и гражданского теплоснабжения ископаемых видов топлива на тепло возобновляемых и вторичных источников является одним из практических направлений энергосбережения и охраны окружающей среды.

Научная значимость и новизна работы состоит в следующем:

- развит эксергетический подход к исследованию теплонасосных систем, учитывающий их системные связи с внешним окружением, позволивший на их основе предложить новые решения по повышению термодинамической эффективности рабочих циклов ТН для широкого диапазона изменения рабочих параметров;

- обоснован подход по минимизации термодинамических потерь от «горячего дросселирования» в ПКТН, основанный на использовании процессов внутрицикловой и внешней регенерации «тепловых стоков» рабочих циклов;

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день доля возобновляемых источников энергии в общем объеме производства электроэнергии составляет 0,3%. К 2020 запланированная доля использования альтернативных источников энергии в общем объеме энергопотребления составит более 3% , к 2015- 1,5%

Приоритетные направления: биоэнергетика, использование сжиженного природного (и в перспективе сланцевого) газа, геотермальные тепловые насосы, солнечные системы горячего водоснабжения, тепловые аккумуляторы, бесплотинные мини-ГЭС, гелионасосы, гидротараны.

Геотермальные (грунтовые) тепловые насосы («ГНР») и гибридные системы

Международное энергетическое агентство ЕИА представило Дорожную карту технологии “Энергоэффективность зданий – отопление и охлаждение”. Эта карта охватывает энергоэффективные и низкоуглеродные системы отопления и охлаждения начиная с современных дней и до 2050 года с целью глобального снижения на 50%, по сравнению с сегодняшним уровнем, общего количества выбросов CO₂ энергетического производства. Возросшее применение тепловых насосов для отопления и подогрева воды, также как и для охлаждения, могло бы сберечь 63% энергии затрачиваемой для этих целей. Срок окупаемости теплового насоса составляет 3 – 7 лет благодаря экономии 70% тепла на отоплении или энергии на охлаждение. Для установки теплового насоса производительностью 10 кВт необходима скважина или земной контур общей длиной 200-170 метров.

По прогнозам Мирового Энергетического Комитета к 2020 году доля ТН в отоплении составит 75%. В Швеции 70% отопления составляют тепловые насосы. В строительной отрасли ЕС тепловые насосы являются ключевой технологией для достижения целей по программе Европейского союза 20/20/20, а также для возможной реализации сценария Голубой карты IEA по ограничению глобального потепления на 2 градуса. В Японии почти все воздушные кондиционеры являются частью тепловых насосов.

Тепловая мощность действующего в мире парка ТН оценивается в 250 ГВт с годовой выработкой 1,0 млрд. Гкал тепла, что соответствует замещению ископаемых видов топлива в объеме до 80 млн. т у. т./год.

Потенциал геотермальных тепловых водных ресурсов Казахстана оценивается в 520 МВт (без использования тепловых насосов) или 4300 МВт (при использовании тепловых насосов). Доказанные ресурсы пригодные для производства электроэнергии (Панфиловское поле) составляют 12 МВт для мелового водоносного горизонта. Геотермальное месторождение Капланбек (недалеко от города Чимкент), с температурой воды 80 °С, используется для теплоснабжения жилых домов. Рядом с городом Алматы геотермальный источник с температурой 80-120 °С используется для отопления теплиц зимой и кондиционирование летом. На состояние 2007 года, Казахстан не использует геотермальные ресурсы для производства электроэнергии. Наиболее перспективные геотермальные резервуары были обнаружены в меловых образованиях на юге и юго-западе Казахстана. В России установленная мощность теплонасосных установок (ТНУ) всех типов не превышает 65 МВт, что делает актуальным в условиях экономического курса страны на энергосбережение и энергоэффективность скорейшее устранение имеющегося отставания в этой сфере.

Однако, опыт практического применения ТН в развитых странах с мягким климатом, где для отопления широко используются тепло окружающего воздуха и грунта, малоприменим для Казахстана. Здесь для работы ТН можно использовать практически неограниченные ресурсы природного и техногенного низкопотенциального тепла водных источников, в частности, поверхностных источников с температурой до 5°С. Однако, при этом коэффициент преобразования ТНУ по причине больших перепадов температур в испарителе и конденсаторе снижается до предельных 2,5, определяющих грань конкурентоспособности с лучшими традиционными теплоисточниками. С развитием малоэтажного строительства актуальными становятся задачи по разработке, созданию и апробации эффективных импортозамещающих парокompрессионных ТН (ПКТН) теплопроизводительностью до 100 кВт и конкурентоспособных схем ТНУ на их основе, адаптированных к Казахстанским природно-климатическим условиям.

В качестве перспективных для широкого промышленного применения в мире рассматриваются мобильные абсорбционные бромисто-литиевые ТН (АБТН) со встроенной топкой и многоступенчатой регенерацией раствора, способные по энергетической эффективности превзойти ПКТН и традиционные теплоисточники. К разработке прототипов уже приступили ведущие зарубежные фирмы, что может привести к смене мировых приоритетов на рынке оборудования для отопления и кондиционирования. Ключевой проблемой исследований в этой области является разработка высокотемпературных генераторов с температурами поверхности нагрева

свыше 200 °С, при которых возможен кризис теплообмена при десорбции растворов.

Повышение эффективности ПКТН и АБТН за счет совершенствования их рабочих циклов и схем составляет основу современных исследований в области теплонасосных технологий. В настоящее время идеология создания ТН базируется на масштабном опыте разработки холодильных машин (ХМ), что не всегда оправдано, т. к. температурные режимы работы, охлаждаемые и нагреваемые среды, рабочие тела и термодинамические циклы, условия конкурентирования на рынке тепла и холода для ТН и ХМ в общем случае сильно различаются. Для оценки их эффективности используются различные показатели, не достаточно полно отражающие специфику многих перспективных приложений, в частности, при совместной выработке тепла и холода в химических технологиях, при охлаждении парного молока с выработкой тепла на ГВС, при сопряжении АБТН с ТЭЦ в рамках низкотемпературных систем централизованного теплоснабжения и т.д. Это делает необходимым разработку и использование универсальных подходов для анализа и поиска решений по повышению эффективности ТН различного типа и теплоснабжающих систем на их основе.

- разработка методов оценки и интенсификации тепло и массообмена применительно к процессам неизотермической абсорбции и десорбции в основных аппаратах АБТН нового поколения;
- проведение сравнительных экспериментальных исследований по изучению неизотермической десорбции навесок водно-солевых растворов применительно к разработке высокотемпературных генераторов для АБТН со встроенной топкой и многоступенчатой регенерацией раствора;
- разработка импортозамещающих ПКТН нового поколения для утилизации возобновляемого тепла природных водных источников и проведение их апробации в условиях рекреационных зон Казахстана;

Основная часть

Умный дом (англ. Smart house , intelligent building)- жилой дом современного типа , организованный для проживания людей при помощи автоматизаций и высокотехнологичных устройств. Под «умным» домом следует понимать систему , которая обеспечивает безопасность и ресурсосбережение (в том числе и комфорт) для всех пользователей . В простейшем случае она должна уметь распознавать конкретные ситуации , происходящие в доме , и соответствующим образом на них реагировать : одна из систем может управлять поведением других по заранее выработанным алгоритмам . Кроме того , от автоматизации нескольких подсистем обеспечивается синергетический эффект для всего комплекса .

Это проще понять , если представить , например , что система отопления никогда не сможет работать против системы кондиционирования . А если отопление осуществляется не только по погоде , но и с учетом целого ряда других факторов. От силы ветра , по предсказанию, от времени суток (ночью комфортная температура меньше).

История

В 1995 году разработчики технологий JAVA предрекали одним из основных назначений для этой технологий увеличения интеллекта бытовых приборов – например холодильник сам будет заказывать продукты из магазина . Промышленного распространения эта идея не получила , но такие компании , как Miele и Siemens , уже выпускают бытовую технику с возможностью включения в «умный дом».

Осенью 2012 года компания Panasonic анонсировала полномасштабное производство систем управления энергией SMARTHEMS , предназначенных для «умных домов» . Panasonic обещает ввести совместимость с системной NEMS во всю линейку своих бытовых приборов , таких как: кондиционеры, «умная» кухонная техника и системы горячего водоснабжения EcoCute. Новая система AiSEG позволяет связать все оборудования и домашние устройства в единую сеть организовав отображение информации о работе солнечных батарей, расходе электричества, газа и воды и автоматически контролируя работу бытовых приборов с помощью протокола ECHNONET Lite.

Умный дом в России и Европе

В Европе	В России
Предназначение: прежде всего энергосбережение и только потом комфорт	Предназначение: комфорт и имидж (для высокобюджетных проектов); простейшая охранно-пожарная сигнализация, иногда с функцией GSM-оповещения (для минимальных бюджетов).
Подход: максимальная унификация	Подход: строго индивидуальный.
Установка: в Европе проекты автоматизации частных домов и квартир готовит сам разработчик и производитель систем, установкой занимаются обычные, но квалифицированные монтажники, работающие строго по схеме.	Установка: установкой занимаются специалисты. Как правило, они работают со многими производителями систем автоматизации, это позволяет подбирать систему оптимально для решения поставленных задач. Эти же специалисты занимаются проектированием, продажей, монтажом, запуском и в дальнейшем

обслуживанием клиентов построенного умного дома.

В настоящее время ситуация изменилась, появились российские разработки высокотехнологичных систем и интеллектуальных приборов, по цене и надежности ориентированные на использование именно в России.

По оценкам аналитиков рынок умного дома активно развивается. К 2020 году общий объем мирового рынка достигнет \$51.77 млрд . В период с 2013 по 2020 года среднегодовые темпы роста рынка будут на уровне 17.74%

Объемы российского рынка значительно скромнее. В 2012 году объем рынка в России превысил 56 млн евро или 2.3 млрд рублей. В 2013 году по предварительным оценкам рынок вырос на 30% до 65 млн евро или почти 3 млрд рублей. К 2017 году его общий объем может достигнуть 176 млн евро или 7.9 млрд рублей.

Тепловые насосы

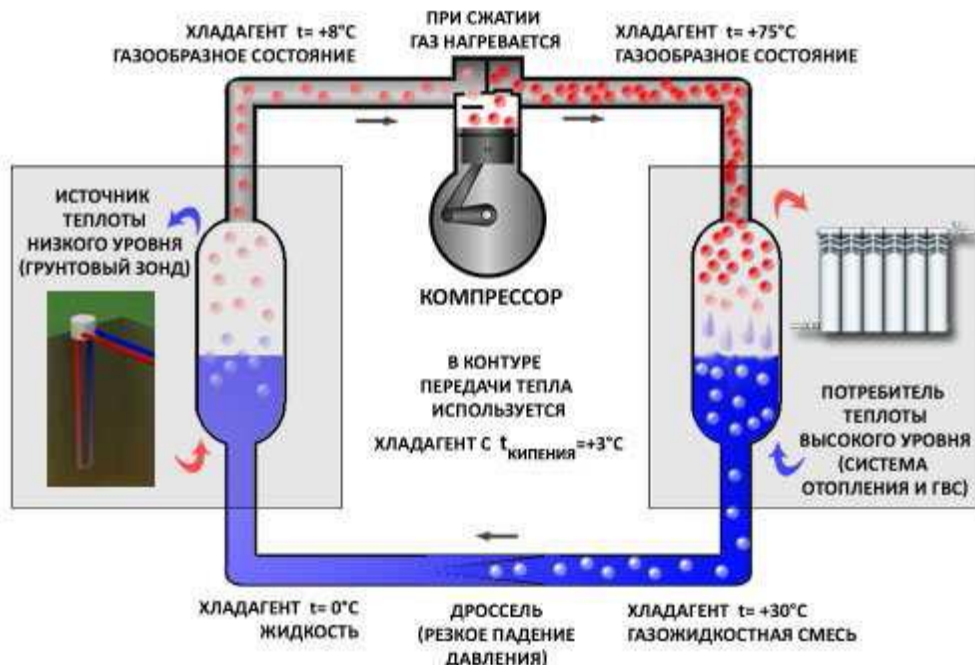


Рис. 1. Принципиальная схема ПТН

Схема абсорбционного теплового насоса показана на рис. 2.

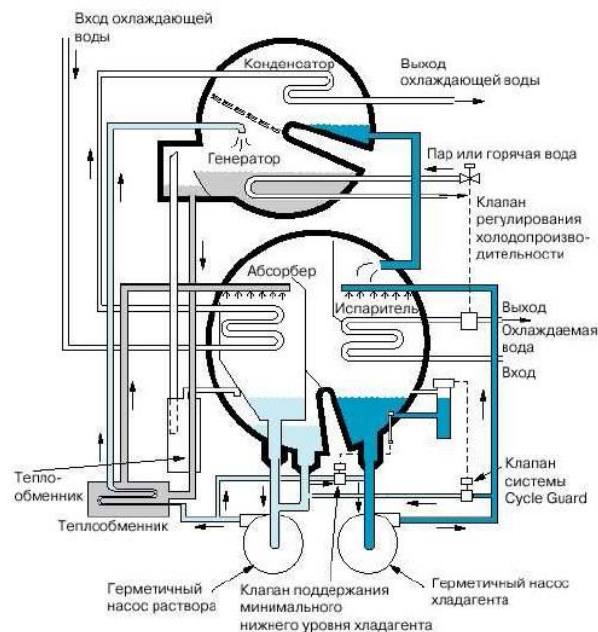


Рис. 2. Принципиальная схема АБТН:



В отличие от ПТН, в абсорбционных тепловых насосах основным видом

потребляемого энергоносителя вместо дефицитной электроэнергии является высокотемпературная (как правило отбросная) теплота. Действие абсорбционной холодильной машины основано на простом принципе: при понижении абсолютного давления снижается температура кипения воды.

Поэтому в испарителе, где поддерживается низкое давление, жидкий хладагент (вода) испаряется, отбирая теплоту у охлаждаемой воды или другой рабочей среды, проходящей по змеевику. В следующей части цикла происходит регенерация хладагента для его повторного использования.

АБТН подразделяются на два основных вида - водоаммиачные и солевые. 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 АБТН, в которых абсорбентом является водный раствор соли бромистого лития ($H_2O/LiBr$).

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

Термодинамическая эффективность тепловых насосов

Энергетическая эффективность любых ТН в режиме нагрева оценивается коэффициентом преобразования (трансформации), который представляет собой отношение $\epsilon = Q_{П} / Q_{К}$

где $Q_{П}$ – произведенная теплота, Вт; $Q_{К}$ – тепловой эквивалент затраченной

мощности, Вт.

Максимальное значение ϵ_{\max} , которое теоретически может достигаться в идеальном тепловом насосе (без учета энергетических потерь), оценивается по формуле Карно: $\epsilon_{\max} = T_2 / (T_2 - T_1)$,

где T_2 – температура конденсации хладагента, К; T_1 – температура кипения хладагента в испарителе, К.

Расчет по этой формуле показывает, что ТН, работающий по идеальному циклу Карно, при температуре кипения, равной среднегодовой температуре окружающей среды 5°C ($T_1=278$ К), и температуре конденсации, равной нормативно установленной температуре воды в системе ГВС 55°C ($T_2=328$ К), мог бы иметь коэффициент преобразования $\epsilon_{\max} = 6,56$. Однако реальные коэффициенты преобразования ТН имеют гораздо меньшие значения, так как идеальных тепловых машин не существует.

Для примера на рис. 3 показана распечатка реального цикла ПТН с переохлаждением конденсата, построенного в том же температурном интервале ($T_1=5^\circ\text{C}$; $T_2=55^\circ\text{C}$) с помощью компьютерной программы Coolpack.

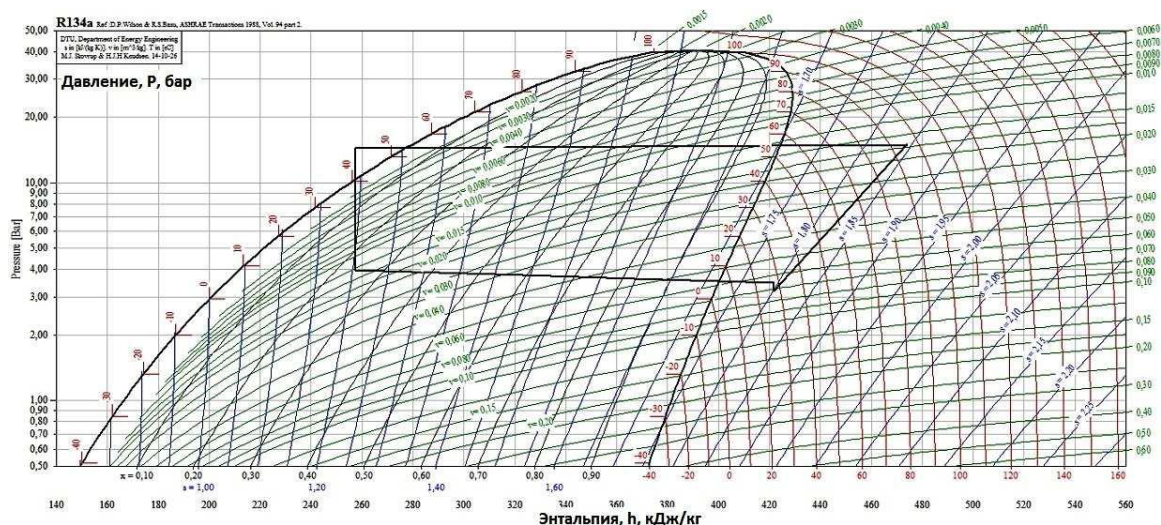


Рис. 3. Реальный цикл ПТН в $\ln(p)$ - h диаграмме состояний фреона R-134a. При построении этого цикла были использованы следующие исходные данные: КПД компрессора $\eta_{1-2} = 0,7$; температура перегрева паров хладагента

перед компрессором $\Delta t_{\text{п}} = 23^\circ\text{C}$, температура переохлаждения конденсата $\Delta t_{\text{пк}} = 12,65^\circ\text{C}$; гидравлические потери давления в элементах фреонового контура: в испарителе $\Delta P_{5-6} = 0,5$ бар; в линии всасывания $\Delta P_{6-1} = 0,3$ бар; в нагнетательной линии после компрессора $\Delta P_{2-3} = 0,2$ бар; в конденсаторе $\Delta P_{3-4} = 0,5$ бар; в жидкостной линии после конденсатора $\Delta P_{4-15} = 0,3$ бар. Обозначения характерных точек этого цикла показаны на схеме рис. 4, а расчетные числовые значения параметров рабочего тела в этих точках

представлены в показанной на рис. 5 распечатке результатов расчета.

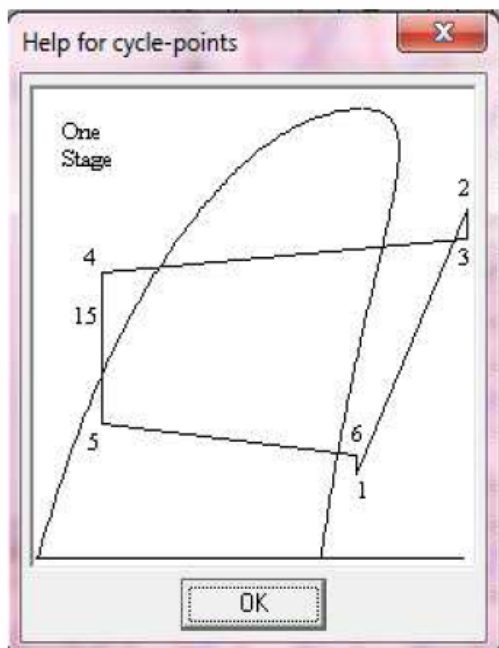


Рис. 4. Схема реального термодинамического цикла ПТН в $\ln(p)$ - h диаграмме

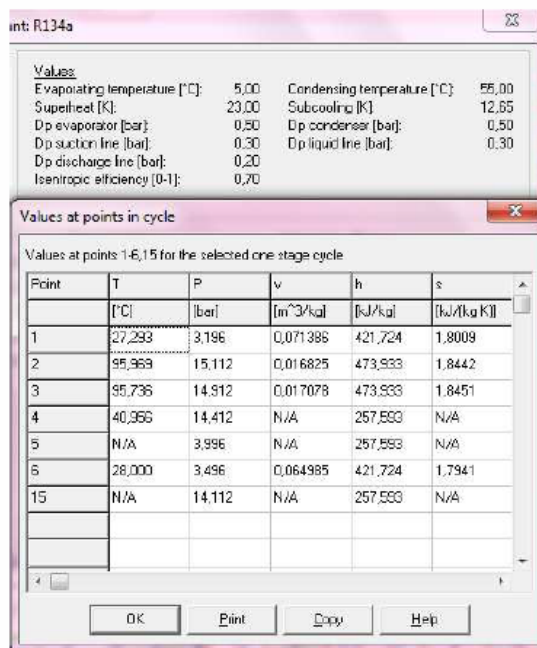


Рис. 5. Расчетные параметры реального термодинамического цикла ПТН, показанного на рис. 3.

Согласно полученным расчетным данным, удельный теплоотвод конденсатора (произведенное количество теплоты, q_p , кДж/кг) определяется разностью энтальпий в точках 3-4 и составляет:

$$q_p = h_3 - h_4 = 473,933 - 257,593 = 216,34 \text{ кДж/кг.}$$

При этом удельная работа компрессора, l_k , кДж/кг, необходимая для реализации данного цикла и определяемая разностью энтальпий в точках 2-1, составляет:

$$l_k = h_2 - h_1 = 473,933 - 421,724 = 52,209 \text{ кДж/кг.}$$

Таким образом, коэффициент преобразования ПТН в данном реальном цикле равен:

$$e = q_p / l_k = 216,34 / 52,209 = 4,144.$$

Степень термодинамического совершенства реальных циклов ТН оценивается коэффициентом обратимости, ϕ , который представляет собой отношение коэффициента преобразования e , достигнутого в реальном цикле к максимально возможному значению e_{max} , рассчитанному по параметрам идеального цикла Карно в том же интервале изотерм. В данном случае расчетное значение коэффициента обратимости составляет:

$$\phi = e / e_{max} = 4,144 / 6,56 = 0,632.$$

Расчетами установлено, что в пределах принятых изотерм испарения и конденсации хладагента R-134a ($T_1 = 5^\circ\text{C}$; $T_2 = 55^\circ\text{C}$) с учетом соблюдения выбранных температурных перепадов перегрева паров перед компрессором $D_{tp} = 23^\circ\text{C}$ и переохлаждения конденсата $D_{tpk} = 12,65^\circ\text{C}$, при условии

максимального сокращения всех гидравлических потерь до нуля и доведения КПД компрессора до 100%, теоретически может быть достигнуто образцовое значение коэффициента преобразования:

$$e_0 = 195,859 / 33,826 = 5,79.$$

Но даже в этом случае коэффициент термодинамической обратимости, рассчитанный относительно идеального цикла Карно составит не более:

$$\phi_0 = e_0 / e_{\max} = 5,79 / 6,56 = 0,883.$$

Если же мысленно допустить, что при тех же условиях возможно было бы снизить температуру переохлаждения конденсата до теоретического предела:

$$D_{\text{тпк}} = T_2 - T_1 = 55 - 5 - 23 = 27^\circ\text{C}, \text{ то и в этом случае } e_{\text{пр}} = 216,968 / 33,826 = 6,414, \text{ а } \phi_{\text{пр}} = 6,414 / 6,56 = 0,978.$$

Все вышеизложенное убедительно доказывает, что для повышения термодинамической эффективности циклов ПТН необходимо сокращать гидравлические потери, повышать КПД компрессора и полезно использовать дополнительную теплоту, получаемую за счет переохлаждения конденсата.

Тепловые насосы можно отнести к отдельному виду теплоэнергетического оборудования, для них нельзя использовать понятие коэффициента полезного действия, так как ТНУ позволяют производить больше энергии, чем затрачивается на выработку. Отношение произведенной теплоты к затраченной энергии на осуществление цикла теплонасосной установки называется коэффициентом преобразования теплоты (coefficient of performance – COP).

Анализ величины COP цикла холодильной машины заключается в анализе термодинамических свойств рабочего вещества. Этот метод был сформулирован и описан Р. Планком еще в 1930-х годах. Рассчитывая значение COP для холодильной машины, работающей на разных рабочих веществах по циклу, предложенному Р. Планком, определяют величину COP рабочего вещества в определенном температурном режиме работы. В рекламной продукции заводов-изготовителей рабочих веществ широко используется величина COP рабочего вещества в стандартном режиме. Очевидно, что величина COP цикла холодильной машины будет зависеть не только от температурного режима работы, но и от свойств примененного вещества. Поэтому выбор рабочего тела имеет большое значение для повышения эффективности работы ТНУ.

Рациональный выбор холодильных агентов усложняется одной из серьезных проблем – немедленный перевод тепловых насосов, которые разрабатываются, выпускаются и находятся в эксплуатации, на альтернативные, или экологически чистые рабочие вещества. Мотивацией этой проблемы стал Монреальский протокол, который обвинил в разрушении озонового слоя молекулу хлора. Как известно, у отечественных холодильных установках наряду с аммиаком широко применяли фреон R22. Сегодня для

замены R22 рекомендуются следующие смеси: R404, R507, R410, R407, R407C [1].

Ниже приведен анализ термодинамических свойств новых холодильных агентов. Сравним их с наиболее популярным «старым» холодильным агентом R22.

Достаточно важной величиной является объемная холодопроизводительность агента. Объемная холодопроизводительность агента для поршневых компрессорных машин должна быть по возможности большей, так как при этом уменьшается объем всасываемого компрессором пара и, соответственно, размеры компрессора. Рассмотрим это при одинаковых температурах конденсации и кипения.

При работе на R22, холодопроизводительность цикла составит 160 кДж/кг при объеме засасываемого компрессором пара 0,09 м³/кг, а при работе на R404 холодопроизводительность цикла $q_0 = 125$ кДж/кг при объеме засасываемого компрессором пара 0,15 м³/кг, то есть в 1,7 раза больше по сравнению с R22.

Давление в испарителе при рабочих температурах кипения, желательно иметь выше атмосферного, чтобы избежать вакуума. При наличии вакуума, возможно проникновение в систему воздуха, что ухудшает работу машины. Это требование можно выполнить, применяя холодильные агенты с низкими температурами кипения при атмосферном давлении. Давление в конденсаторе, при обычных температурах охлаждающей среды, не должен быть чрезмерно высоким. Снижение предельного давления в машине позволяет облегчить конструкцию. Кроме того, снижаются требования к уплотнению, и уменьшается опасность утечки холодильного агента через неплотности. Турбокомпрессорные холодильные машины экономичнее работают при больших объемах всасывания, поэтому для них пригодны холодильные агенты с малой объемной холодопроизводительностью. Температура замерзания холодильного агента должна быть значительно ниже рабочей температуры кипения, для того чтобы исключить возможность замерзания его в испарителе.

Критическая температура должна быть достаточно высокой, чтобы можно было осуществлять процесс сжижения при температуре окружающей среды, а также для обеспечения более экономичной работы машины.

Целесообразность замены холодильного агента R22 на озонобезопасную смесь R404 следует рассматривать с учетом следующих факторов: – удельная холодопроизводительность в R404 ниже, чем в R22, что приводит к перерасходу электроэнергии;

– при равных температурах конденсации, давление в R404 на 18% выше, чем в R22, что требует повышенных расчетных давлений аппаратов и приводит к снижению срока службы компрессоров на 20-25%;

– при ровных поверхностях конденсатора температура конденсации в R404 на 5°C выше, чем в R22, что приводит к дополнительной перерасходу электроэнергии на 11%;

– стоимость R404 в 10 раз выше стоимости R22.

Вещества на основе гидрофторуглеродов, таких, как R404 и R507, все чаще приходят на смену устаревшим хладагентам. Оба хладагента подходят для интервала температур испарения от - 45 до + 10 С, однако коэффициент теплопередачи в азеотропной смеси R507, как правило, выше, чем в неазеотропной R404. Поэтому теплообменник, в котором используется R507, при прочих равных условиях характеризуется меньшей площадью теплообмена или более высокой температурой испарения и более низкой температурой конденсации, что приводит к значительной экономии энергии.

Хладагент R507 удовлетворяет основное требование по замене R502 в модернизированных системах. Кроме этого, использование R507 повышает надежность работы компрессоров, поскольку температура нагнетания в этом случае на 1 ÷ 2 °С ниже, чем для R404, на 11 ÷ 12 °С ниже, чем для R502 и еще более низкая – для R22.

Перспективным является использование хладагента R407С, основное преимущество которого заключается в том, что при переходе с R22 на R407С, не нужно значительного изменения холодильной системы, и он является оптимальной альтернативой R22 по холодопроизводительности и давления насыщенного пара.

По сравнению с R22 хладагент R407С оказывает значительно меньше вреда окружающей среде. В то же время, при более низкой температуре нагнетания и чуть большем давлении всасывания, энергетическая эффективность R407С близка к энергетической эффективности R22.

Вместе с тем, большинство компаний обеспокоено большим температурным дрейфом (5 ÷ 7 °С), характерным для R407С. Поэтому, массовые доли компонентов предлагаемых смесей варьируют в широких пределах. Данное обстоятельство затрудняет обслуживание холодильных систем. Так, в системах с несколькими испарителями, возможно нарушение исходной концентрации рабочего вещества, заправленной в систему. Однако, несмотря на очевидные преимущества и потенциальные выгоды, применения R410 в кондиционировании, считается, что R410 трудно работать, поскольку установки, где он используется, должны быть рассчитаны на более высокое рабочее давление. При большей удельной производительности, чем R22, диапазон нормальных рабочих давлений для R410 примерно в 1,5 раза выше, чем в R22.

Более высокая объемная холодопроизводительность R410 по сравнению с R22, в сочетании с более высоким коэффициентом теплопередачи, позволяет конструировать компактное оборудование, снижая тем самым стоимость установки и расширяя возможности монтажа. Холодильная установка, специально сконструированная для работы с R410, на 5% энергетически более эффективна по сравнению с R22, и на 12% – с R407С.

Эффективность циклов холодильных машин на озонобезопасных фреонах, которые сравнивают традиционно с циклами на R12 и R22, нередко ниже. Фактически, переход из ХФУ (хлорфторуглероды) и ГХФУ (гидрохлорфторуглероды) на озонобезопасные хладагенты, внес

дополнительный вклад в глобальное потепление за счет увеличенного потребления энергии. Исключив прямые эмиссии тех же ГХФУ в атмосферу, можно не менее эффективно бороться с глобальным потеплением.

Следовательно, имеет смысл совершенствования холодильных систем на имеющихся хладагентах при сопоставлении стоимости осуществления мер по наиболее полному исключению эмиссий хладагентов и уровня энергетических выгод от этого. Это особенно важно для стран с низким экономическим уровнем развития. Для таких стран, к которым, к сожалению, относится и Казахстан. Нецелесообразность перехода на альтернативные хладагенты можно аргументировать следующим:

- ни один из альтернативных фреонов, а также холодильные масла к ним, не производятся в Казахстане, поэтому, при переходе на эти хладагенты, отечественные потребители оказываются в полной зависимости от зарубежных производителей фреонов;

- несовместимость ряда минеральных масел с хладагентами вызывает необходимость их замены на дорогие гигроскопичны синтетические масла;

- фреоны определенной степени вредны, в связи с чем необходимо соблюдать особые требования, предъявляемые к размещению холодильных установок, в которых они используются;

Также эксплуатация холодильного оборудования, работающего на новых многокомпонентных смесях, требует высокой технической культуры обслуживающего персонала. Усложняется процедура заправки и дозаправки холодильных агентов. Это обусловлено изменением первоначального соотношения ходильных смеси, вследствие неизбежного убегания хладагента, что приводит к изменению термодинамических характеристик смеси и, как следствие, к нарушению условий эксплуатации оборудования.

Влияние фреонов групп ХФУ и ГХФУ на разрушение озонового слоя еще не полностью исследованы, возможно, это желание компаний, производящих фреоны, увеличить свою прибыль.

До сих пор некоторые исследователи высказывают большие сомнения по поводу целесообразности принятия запрета ХФУ. Самые категорические критики объявляют протокол грандиозной аферой, инициированной группой химических концернов с целью монополизировать рынок и вытеснить национальных производителей; более умеренные указывают на противоречивость некоторых положений и призывают к коррекции протокола с учетом времени.

Существующие прогнозы по использованию холодильных агентов в будущем указывают на расширение области применения аммиачных холодильных машин.

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПТН

Экологическая эффективность ПТН по сравнению с традиционными теплоисточниками, работающими на органическом топливе, определяется энергетической эффективностью, т.е. экономией первичных видов топлива, благодаря тепловым насосам, при одинаковой выработке тепловой энергии одинакового потенциала, удовлетворяющего потребителя. Сравнительная

экологическая эффективность ПТН по сравнению с котельными на твердом, жидком, газообразном топливе, а также с электрокотельными, потребляющими электрический ток, выработанный на ТЭЦ, приведена в табл. 1. Как видно из табл.1, пароконденсационные тепловые насосы с коэффициентом преобразования $\phi = 3,0$, что соответствует температуре НИТ, равной $+8^{\circ}\text{C}$, (при использовании для выработки электроэнергии на ТЭЦ первичных видов топлива: угля, мазута топочного, природного газа), по сравнению с котельными на соответствующих видах топлива имеют:

- почти в два раза меньше выбросов окислов азота, серы, окиси и двуокиси углерода при работе на угле;
- более чем в полтора раза меньше при работе на мазуте;
- на 30% меньше при работе на природном газе.

Сравнительная таблица экологической эффективности тепловых насосов по сравнению с традиционными котельными, работающими на органическом топливе.

(Расчеты выполнены для котельных потребителей тепловой мощностью 1,163 МВт (1,0 Гкал/ч), с годовой выработкой тепловой энергии 2616 Гкал; расход топлива на ТЭЦ – 0,3 кг условного топлива на 1кВт·ч; тепловая способность: угля – 19,5 МДж/кг, мазута – 39,0 МДж/кг, природного газа – 33,24 МДж/нм³). (Производители тепла)

	Традиционная котельная			Электро-котельная			Тепловой насос					
	КПД 0,65	КПД 0,80	КПД 0,88	Т +8 ⁰ С								
Топливо	Уголь	Мазут	Пр.газ	Уголь	Мазут	Пр.газ	Уголь	Мазут	Пр.газ	Уголь	Мазут	Пр.газ
Годовой расход топлива (уголь и мазут – в тоннах, газ – тыс. км ³)												
Сжигание	Непосредственно у потребителя			На удаленных ТЭЦ								
	586,3	351,6	374,7	1360,0	687,0	808,7	453,1	229,0	269,6	226,6	114,5	134,8
Суммарные вредные выбросы окислов азота, серы, углерода в год, тонн												
На местах производства тепла	16,31	9,98	2,48	-	-	-	-	-	-	-	-	-
В местах сжигания топлива (в т.ч. ТЭЦ)	1743,0	1029,0	667,4	25,9	18,6	5,58	8,63	6,2	1,86	4,32	3,1	0,93
Выброс CO ₂ (парниковый эффект) в год, тонн												
В атмосферу Земли	1743,0	1029,8	667,4	2768,0	1919,0	1499,0	922,5	639,7	500,0	461,0	319,8	250,0

По сравнению с электрокотельной, получающей электроэнергию от ТЭЦ, тепловой насос с электроприводом, питающимся от той же ТЭЦ, имеет выбросы в 3 раза ниже. При коэффициенте преобразования $\phi = 6,0$ «приведенные» выбросы вредных газообразных и твердых продуктов сжигания первичного топлива в тепловых насосах сокращаются еще в 2 раза по сравнению с ПТН, имеющим $\phi = 3,0$. В теплоисточниках с тепловыми насосами и в теплоисточниках

Таблица 1.

Сравнительная таблица экологической эффективности тепловых насосов

по сравнению с традиционными котельными, работающими на органическом топливе.

(Расчеты выполнены для котельных потребителя тепловой мощностью 1,163 МВт (1,0 Гкал/ч), с годовой

выработкой тепловой энергии 2616 Гкал; расход топлива на ТЭЦ – 0,3 кг условного топлива на 1кВт·ч;

тепловая способность: угля – 19,5 МДж/кг, мазута – 39,0 МДж/кг, природного газа – 33,24 МДж/нм³).

с электродкотельными выбросы производятся на удаленных ТЭЦ, которые вырабатывают для них электроэнергию, в отличие от котельных, в которых загрязнение окружающей среды происходит в районе их размещения, в непосредственной близости от потребителей тепловой энергии. Следует иметь в виду, что системы очистки продуктов сжигания топлива на ТЭЦ более совершенны и подлежат обязательной установке, чего нельзя сказать о малых и средних котельных, в которых они практически отсутствуют. На *рис. 4* показано относительное снижение выбросов «парникового» углекислого газа в ПТН, получающих электроэнергию от конденсационной электростанции (КЭС), с различными коэффициентами сезонной производительности SEER (отношение общей тепловой энергии в кВт · час, выработанной за сезон, к общей израсходованной за этот сезон электроэнергии в ПТН, т.е. средний за сезон ϕ_{cp}) по сравнению с газовыми котлами одинаковой тепловой мощности, при их различных КПД [1].

Современные ПТН типа «воздух воздух» обеспечивают $SEER = 3,0$. Тепловые насосы типа «вода - вода» и «грунт- вода» работают более эффективно и у них $SEER = 4,0$.

Для примера: ПТН, имеющий $SEER = 2,75$, выбрасывает в атмосферу CO₂ на 35% меньше, чем газовый котел с КПД = 90% при одинаковой сезонной производительности.

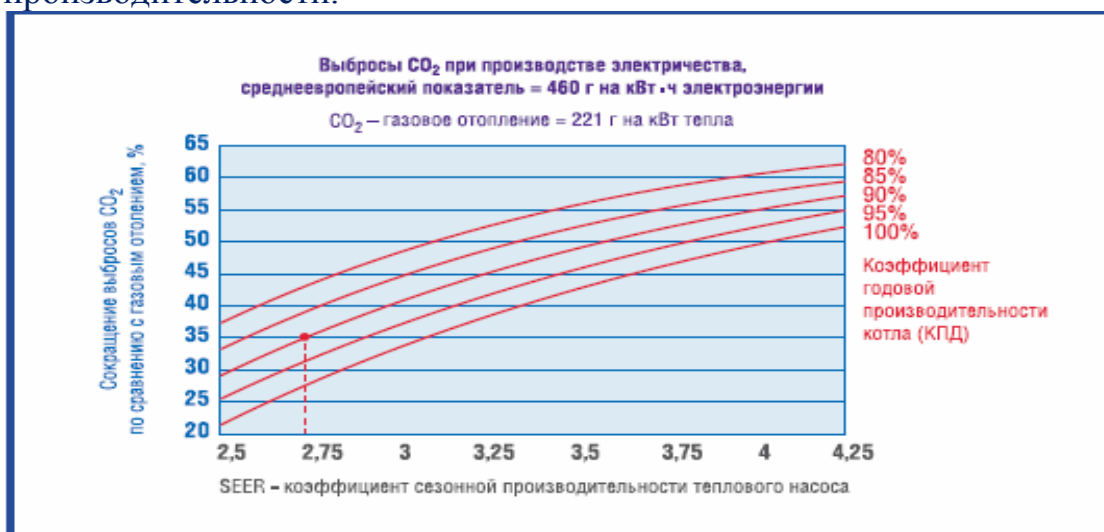


Рис. 4

Сравнение электроприводных ПТН с газовыми котлами по выбросам CO₂

Условный КПД тепловых насосов

КПД теплового насоса приводит многих в замешательство, т.к. если выполнить "очевидный расчет" принципиально больше 1, однако работа теплового насоса полностью подчиняется закону сохранения энергии. Т.е. действительно если считать тепловой насос "черным ящиком", то действительно устройство потребляет энергии меньше, чем производит тепла, что принципиально.

Однако подобные расчеты просто неправильны и не учитывают источник энергии кроме потребляемого электричества. Таким источником обычно является теплый воздух или вода, которые нагревают Солнце или геотермальные процессы. Электроэнергия в устройстве не тратится непосредственно на нагрев, а тратится на "концентрацию" энергии источника низкопотенциального тепла, как правило обеспечивая энергией работу компрессора. Т.е. тепловой насос имеет два источника энергии - электричество и источник низкопотенциального тепла, а расчет не учитывает такой источник, то получаются значения больше единицы.

Пример:

Пусть тепловой насос потребляет из электрической сети 1 КВт и отдает потребителю 4 Квт, и забирает из низкопотенциального источника 5 Квт.

Расчет типа $R_{\text{потребителя}}/R_{\text{сети}} = 4/1 = 4$ - неправильный т.к. не учитывает источник низкопотенциального тепла

Правильный расчет для КПД теплового насоса:

$$R_{\text{потребителя}}/(R_{\text{сети}} + R_{\text{источника}}) = 4/(1 + 5) = 0.67$$

Как правило оценить сколько тепловой насос переносит тепла из источника низкопотенциального тепла довольно затруднительно, что и приводит к ошибке.

Однако если в расчете учесть и источник низкопотенциального тепла, то КПД машины станет принципиально меньше единицы. Для избежания путаницы были введены коэффициенты: COP и степень термодинамического совершенства. COP говорит какую работу устройству необходимо совершить для переноса единицы тепла от низкопотенциального источника к потребителю, а степень термодинамического совершенства показывает насколько реальный тепловой цикл теплового насоса приближен к идеальному тепловому циклу.

Типы тепловых насосов

Схема компрессионного теплового насоса.

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

В зависимости от принципа работы тепловые насосы подразделяются на компрессионные и абсорбционные. Компрессионные тепловые насосы всегда приводятся в действие с помощью механической энергии (электроэнергии), в то время как абсорбционные тепловые насосы могут также использовать тепло в качестве источника энергии (с помощью электроэнергии или топлива).

В зависимости от источника отбора тепла тепловые насосы подразделяются на[6] :

1) Геотермальные (используют тепло земли, наземных либо подземных грунтовых вод)

а) замкнутого типа

- горизонтальные

Горизонтальный геотермальный тепловой насос

Коллектор размещается кольцами или извилисто в горизонтальных траншеях ниже глубины промерзания грунта (обычно от 1,2 м и более)[7]. Такой способ является наиболее экономически эффективным для жилых объектов при условии отсутствия дефицита земельной площади под контур.

- вертикальные

Коллектор размещается вертикально в скважины глубиной до 200 м[8]. Этот способ применяется в случаях, когда площадь земельного участка не позволяет разместить контур горизонтально или существует угроза повреждения ландшафта.

- водные

Коллектор размещается извилисто либо кольцами в водоёме (озере, пруду, реке) ниже глубины промерзания. Это наиболее дешёвый вариант, но есть требования по минимальной глубине и объёму воды в водоёме для конкретного региона.

- С непосредственным теплообменом (DX — сокр. от англ. direct exchange — «прямой обмен»)[9]

В отличие от предыдущих типов, хладагент компрессором теплового насоса подаётся по медным трубкам, расположенным:

- Вертикально в скважинах длиной 30 м и диаметром 80 мм
- Под углом в скважинах длиной 15 м и диаметром 80 мм
- Горизонтально в грунте ниже глубины промерзания

Циркуляция хладагента компрессором теплового насоса и теплообмен фреона напрямую через стенку медной трубы с более высокими показателями теплопроводности обеспечивает высокую эффективность и надёжность геотермальной отопительной системы. Также использование такой технологии позволяет уменьшить общую длину бурения скважин, уменьшая таким образом стоимость установки. DX Direct Exchange Heatpump

б) открытого типа

Подобная система использует в качестве теплообменной жидкости воду, циркулирующую непосредственно через систему геотермального теплового насоса в рамках открытого цикла, то есть вода после прохождения по системе возвращается в землю. Этот вариант возможно реализовать на практике лишь при наличии достаточного количества относительно чистой воды и при условии, что такой способ использования грунтовых вод не запрещён законодательством.

2) Воздушные (источником отбора тепла является воздух)

3) Использующие производное (вторичное) тепло (например, тепло трубопровода центрального отопления). Подобный вариант является наиболее целесообразным для промышленных объектов, где есть источники паразитного тепла, которое требует утилизации.

Типы промышленных моделей

Тепловой насос «солевой раствор — вода»

По виду теплоносителя во входном и выходном контурах насосы делят на восемь типов: «грунт—вода», «вода—вода», «воздух—вода», «грунт—воздух», «вода—воздух», «воздух—воздух», «фреон—вода», «фреон—воздух». Тепловые насосы могут использовать тепло выпускаемого из помещения воздуха, при этом подогревать приточный воздух — рекуператоры.

Отбор тепла от воздуха

Эффективность и выбор определённого источника тепловой энергии сильно зависят от климатических условий, особенно, если источником отбора тепла является атмосферный воздух. По сути этот тип более известен в виде кондиционера. В жарких странах таких устройств десятки миллионов. Для северных стран наиболее актуален обогрев зимой. Системы «воздух-воздух» и «воздух-вода» используются и зимой при температурах до минус 25 градусов, некоторые модели продолжают работать до -40 градусов. Но их эффективность невысока, порядка 1.5 раза, а за отопительный сезон в среднем около 2.2 раза по сравнению с электрическими нагревателями. При сильных морозах используется дополнительное отопление. Когда мощности основной системы отопления тепловыми насосами недостаточно, включаются дополнительные источники теплоснабжения. Такую систему называют бивалентной.

Отбор тепла от горной породы

Скальная порода требует бурения скважины на достаточную глубину (100—200 метров) или нескольких таких скважин. В скважину опускается U-образный груз с двумя пластиковыми трубками, составляющими контур. Трубки заполняются антифризом. По экологическим соображениям это 30 % раствор этилового спирта. Скважина заполняется грунтовыми водами естественным путём, и вода проводит тепло от камня к теплоносителю. При недостаточной длине скважины или попытке получить от грунта сверхрасчётную мощность, эта вода и даже антифриз могут замёрзнуть что и ограничивает максимальную тепловую мощность таких систем. Именно температура возвращаемого антифриза и служит одним из показателей для схемы автоматики. Ориентировочно на 1 погонный метр скважины приходится 50-60 Вт тепловой мощности. Таким образом, для установки теплового насоса производительностью 10 кВт необходима скважина глубиной около 170 м. Нецелесообразно бурить глубже 200 метров, дешевле сделать несколько скважин меньшей глубины через 10 — 20 метров друг от друга. Даже для маленького дома в 110—120 кв.м. при небольшом энергопотреблении срок окупаемости 10 — 15 лет.[11] Почти все имеющиеся на рынке установки работают и летом, при этом тепло (по сути солнечная энергия) отбирается из помещения и рассеивается в породе или грунтовых водах. В скандинавских странах со скальным грунтом гранит выполняет роль массивного радиатора, получающего тепло летом/днём и рассеивающего его

обратно зимой/ночью. Также тепло постоянно приходит из недр Земли и от грунтовых вод.

Отбор тепла от грунта

Самые эффективные, но и самые дорогие схемы предусматривают отбор тепла от грунта, чья температура не меняется в течение года уже на глубине нескольких метров, что делает установку практически независимой от погоды. По данным [источник не указан 1617 дней] 2006 года в Швеции полмиллиона установок, в Финляндии 50 000, в Норвегии устанавливалось в год 70 000. При использовании в качестве источника тепла энергии грунта трубопровод, в котором циркулирует антифриз, зарывают в землю на 30-50 см ниже уровня промерзания грунта в данном регионе. На практике 0,7 — 1,2 метра [источник не указан 1617 дней]. Минимальное рекомендуемое производителями расстояние между трубами коллектора — 1,5 метра, минимум — 1,2. Здесь не требуется бурение, но требуются более обширные земельные работы на большой площади, и трубопровод более подвержен риску повреждения. Эффективность такая же, как при отборе тепла из скважины. Специальной подготовки почвы не требуется. Но желательно использовать участок с влажным грунтом, если же он сухой, контур надо сделать длиннее. Ориентировочное значение тепловой мощности, приходящейся на 1 м трубопровода: в глине — 50-60 Вт, в песке — 30-40 Вт для умеренных широт, на севере значения меньше. [12] Таким образом, для установки теплового насоса производительностью 10 кВт необходим земляной контур длиной 350—450 м, для укладки которого потребуются участок земли площадью около 400 м² (20x20 м). При правильном расчёте контур мало влияет на зелёные насаждения.

Устройство беструбного водоподъёма, соединённое с погружным скважинным электронасосом ЭЦВ10-63-110. В скважинах диаметром 218—324 мм можно существенно снизить необходимую глубину скважины до 50-70 м, увеличить отбор тепловой энергии минимум до 700 Вт на 1 пог. м. скважины и обеспечить стабильность круглогодичной эксплуатации [13] позволяет применение активного контура первичного преобразователя теплового насоса, размещённого в стволе водозаборной скважины (применяется в скважинах имеющих погружной насос, с устройством беструбного водоподъёма, который создаёт проточность жидкости в стволе скважины, продувая током перекачиваемой жидкости теплообменный контур с хладагентом первичного преобразователя теплового насоса, увеличивая отбор тепла не только от прилегающего массива грунта, но и от перекачиваемой жидкости).

Отбор тепла от водоёма

При использовании в качестве источника тепла близлежащего водоёма контур укладывается на дно. Глубина не менее 2 метров. Коэффициент преобразования энергии тепловым насосом такой же, как при отборе тепла от грунта. Ориентировочное значение тепловой мощности на 1 м трубопровода — 30 Вт. Таким образом, для установки теплового насоса производительностью 10 кВт необходимо уложить в озеро контур длиной

300 м. Чтобы трубопровод не всплывал, на 1 пог. м устанавливается около 5 кг груза. Промышленные образцы: 70 — 80 кВт*ч/м в год.[14]

Если тепла из внешнего контура всё же недостаточно для отопления в сильные морозы, практикуется эксплуатация насоса в паре с дополнительным генератором тепла (в таких случаях говорят об использовании бивалентной схемы отопления). Когда уличная температура опускается ниже расчётного уровня (температуры бивалентности), в работу включается второй генератор тепла — чаще всего небольшой электронагреватель.

Преимущества и недостатки

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 — тригенерация. 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.

Ещё одним преимуществом тепловых насосов является возможность переключения с режима отопления зимой на режим кондиционирования летом: просто вместо радиаторов к внешнему коллектору подключаются фэн-койлы или системы «холодный потолок».

Тепловой насос надёжен, 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 её 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 1930-х годах. К 2012 году в Японии, эксплуатируется более 3,5 миллионов установок[15], в Швеции около 500 000 домов обогревается тепловыми насосами различных типов.

К недостаткам геотермальных тепловых насосов, используемых для отопления, следует отнести большую стоимость установленного оборудования, необходимость сложного и дорогого монтажа внешних

подземных или подводных теплообменных контуров. Недостатком воздушных тепловых насосов является более низкий коэффициент преобразования тепла, связанный с низкой температурой кипения хладагента во внешнем «воздушном» испарителе. Общим недостатком тепловых насосов является 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.

Перспективы

Для установки теплового насоса необходимы первоначальные затраты: стоимость насоса и монтажа системы составляет \$300-1200 на 1 кВт необходимой мощности отопления. Время окупаемости теплонасосов составляет 4-9 лет, при сроке службы по 15-20 лет до капитального ремонта.

Существует и альтернативный взгляд на экономическую целесообразность установки теплонасосов. Так, если установка теплонасоса производится на средства, взятые в кредит, экономия от использования теплонасоса может быть меньше, чем стоимость использования кредита. Поэтому массовое использования теплонасосов в частном секторе можно ожидать, если стоимость теплонасосного оборудования будет сопоставима с затратами на установку газового отопления и подключения к газовой сети.

Ещё более многообещающей является система, комбинирующая в единую систему теплоснабжения геотермальный источник и тепловой насос. При этом геотермальный источник может быть как естественного (выход геотермальных вод), так и искусственного происхождения (скважина с закачкой холодной воды в глубокий слой и выходом на поверхность нагретой воды).

Другим возможным применением теплового насоса может стать его комбинирование с существующими системами централизованного теплоснабжения. К потребителю в этом случае может подаваться относительно холодная вода, тепло которой преобразуется тепловым насосом в тепло с потенциалом, достаточным для отопления. Но при этом вследствие меньшей температуры теплоносителя потери на пути к потребителю (пропорциональные разности температуры теплоносителя и окружающей среды) могут быть значительно уменьшены. Также будет уменьшен износ труб центрального отопления, поскольку холодная вода обладает меньшей коррозионной активностью, чем горячая.

Ограничения применимости тепловых насосов

Основным недостатком теплового насоса является обратная зависимость его эффективности от разницы температур между источником теплоты и потребителем. Это накладывает определённые ограничения на использование систем типа «воздух — вода». Реальные значения эффективности современных тепловых насосов составляют порядка $\text{COP}=2.0$ при температуре источника $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, и порядка $\text{COP}=4.0$ при температуре источника $+7\text{ }^{\circ}\text{C}$. Это приводит к тому, что для обеспечения заданного температурного режима потребителя при низких температурах воздуха

необходимо использовать оборудование со значительной избыточной мощностью, что сопряжено с нерациональным использованием капиталовложений (впрочем, это касается и любых других источников тепловой энергии). Решением этой проблемы является применение так называемой бивалентной схемы отопления, при которой основную (базовую) нагрузку несет тепловой насос, а пиковые нагрузки покрываются вспомогательным источником (газовый или электродкотел). Оптимальная мощность теплонасосной установки составляет 60...70 % от необходимой установленной мощности, что также влияет на закупочную стоимость установки отопления тепловым насосом. В этом случае тепловой насос обеспечивает не менее 95 % потребности потребителя в тепловой энергии за весь отопительный сезон. При такой схеме среднесезонный коэффициент преобразования энергии для климатических условий Центральной Европы равен порядка COP=3. Коэффициент использования первичного топлива для такой системы легко определить, исходя из того, что КПД тепловых электростанций составляет от 40 % (тепловые электростанции конденсационного типа) до 55 % (парогазовые электростанции). Соответственно, для рассматриваемой теплонасосной установки коэффициент использования первичного топлива лежит в пределах 120 %...165 %, что в 2...3 раза выше, чем соответствующие эксплуатационные характеристики газовых котлов (65 %) или систем центрального отопления (50...60 %). Понятно, что системы, использующие геотермальный источник теплоты или теплоту грунтовых вод, свободны от этого недостатка. С ростом степени сжатия компрессором растет температура нагнетания, что ограничивает температуру конденсации. Ограничение в степени сжатия компрессора и понижение его КПД с ростом степени сжатия приводит к необходимости использования низкотемпературных систем отопления (системы поверхностного нагрева типа «теплый пол», теплая стена, теплый плинтус, воздушные системы отопления с применением фен-койлов и т. п.). Это ограничение касается только высокотемпературных радиаторных систем отопления. С развитием холодильных компрессоров существуют компрессоры позволяющие достигать высоких температур конденсации при использовании впрыска пара и жидкого фреона (хладона) в процессе сжатия, что позволяет повысить степень сжатия и уменьшить перегрев компрессора. Выход из создавшейся ситуации, возможен применением водокольцевого компрессора высокого давления. Где в процессе сжатия атмосферного воздуха происходит мгновенное поглощение тепла водой, при этом достигается двойная выгода; горячая вода+сжатый воздух, позволяющий получить электроэнергию как на ГПА так и на ГТУ.

Тепловые насосы для отопления дома

Тепловой насос — устройство для переноса тепловой энергии от источника низкопотенциальной тепловой энергии (с низкой температурой) к потребителю (теплоносителю) с более высокой температурой. Термодинамический тепловой насос аналогичен холодильной машине. Однако если в холодильной машине основной целью является производство

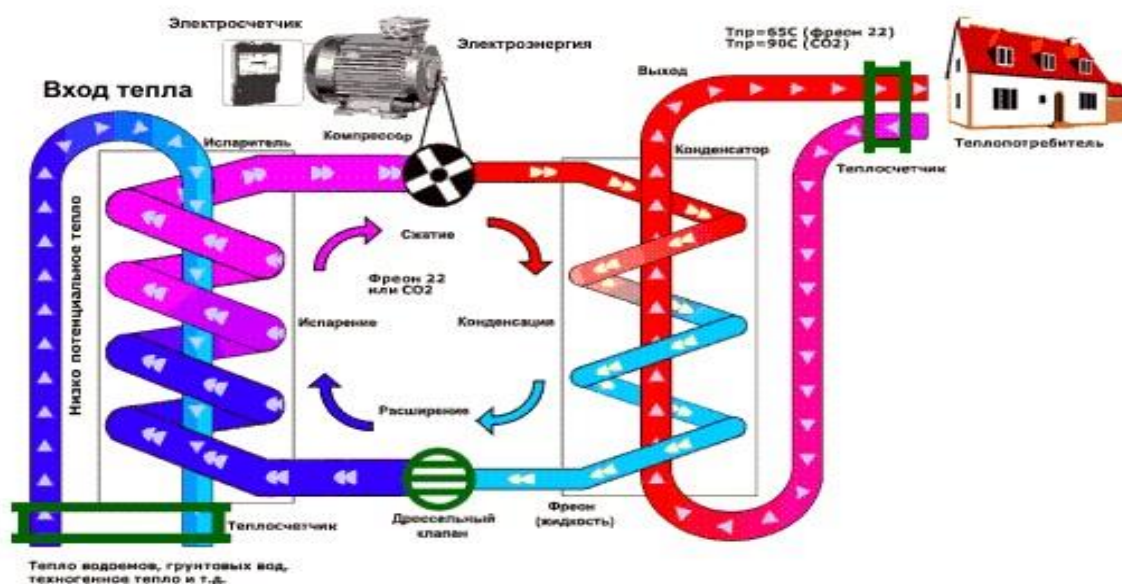
холода путём отбора теплоты из какого-либо объёма испарителем, а конденсатор осуществляет сброс теплоты в окружающую среду, то в тепловом насосе картина обратная. Конденсатор является теплообменным аппаратом, выделяющим теплоту для потребителя, а испаритель — теплообменным аппаратом, утилизирующим низкопотенциальную теплоту: вторичные энергетические ресурсы и (или) нетрадиционные возобновляемые источники энергии.

Принцип работы тепловых насосов для отопления дома базируется на извлечении тепла из окружающего воздуха, грунта, озера, рек, морей, подземных вод с последующей передачей теплоносителю. Наряду с отличными экологическими показателями присутствуют не уступающие им экономические показатели, что стало возможным благодаря использованию бесплатного тепла окружающей среды.

Хотя идея обогрева индивидуального дома и организации горячего водоснабжения подобным способом и не является новинкой, все же тепловые насосы для отопления дома широко внедряются на рынке стали относительно недавно. Ко всему прочему, тепловые насосы применяются также и в геотермальном отоплении.

Работа теплового насоса по своим термодинамическим свойствам сходна с

Принципиальная схема теплового насоса



работой холодильного оборудования. Разница состоит в том, что вместо отбирающего холод испарителя и отводящего наружу тепло, происходит обратный процесс – насос отбирает тепло с низкими температурными показателями, аккумулирует и обогащает его, а уже потом передает теплоносителю. В качестве аппарата, который выделяет тепло, используется конденсатор, а роль утилизации низко потенциальной теплоты отводится испарителю.

Регулярное повышение стоимости энергии с выдвиганием все более жестких требований к экологии и охране природы толкают человечество на

поиск альтернативных методов получения тепла, отопления помещений, подогрева воды.

Тепловой насос для такого случая является самым оптимальным решением, так как лишь третья часть энергии, расходуемой на обогрев, является электричеством, остальное – это рациональное использование природных источников.

Действительно, если выполнить сравнение показателей обогрева газом, жидким или твердым топливом, то экономичность теплового насоса окажется в несколько раз выше. Если вы используете тепловые насосы для отопления дома, то расходы, в среднем, снизятся в 2-3 раза.

Экономичность тепловых насосов

При работе теплового насоса происходит потребление электроэнергии, которая необходима для работы компрессора. Основным показателем эффективности оборудования является трансформация (преобразование тепла), вычисляющаяся в виде разницы между затраченной электроэнергией и полученной тепловой энергией.

Разница температуры испарителя по отношению к конденсатору присутствует всегда, причем, чем больше разница показателей, тем меньше полезное действие. Именно поэтому при использовании теплового насоса для отопления нужно иметь обширный источник низко потенциального тепла, иначе может произойти чрезмерное охлаждение.



Тепловой насос VISSMANN VITOCAL

Исходя из вышеизложенного, становится очевидным устройство теплового насоса, нагреваемая масса которого на порядок меньше массы низкотемпературного источника. При увеличении объема теплообмена удастся в значительной мере уменьшить разницу температуры источника тепла по отношению к рабочему холодному телу, а, следовательно, и снизить потребление электроэнергии. Правда, это приводит не только к увеличению габаритов оборудования, но и к значительному повышению его стоимости.

Во многих развитых странах не только используются тепловые насосы для отопления, они еще и имеют привязку к общегородской системе, осуществляющей массовый перенос низко потенциального тепла.

Классификация тепловых насосов

Тепловые насосы устроены таким образом, чтобы их можно было эксплуатировать в широком диапазоне температур. Как правило, подобное оборудование без перебоев работает при температуре от -30°C до $+35^{\circ}\text{C}$.

Самое широкое распространение получили компрессионные и абсорбционные тепловые насосы. Компрессионные насосы используют электрическую и механическую энергию для переноса тепла. Абсорбционный тип насосов выглядит сложнее, зато дает возможность передавать тепло, используя для этого сам источник тепла, при этом значительно снижаются затраты топлива, электрической энергии.

По источникам тепла насосы можно классифицировать на такие типы:

- Геотермальный – насос забирает тепло из земли, подземных и наземных вод.
- Воздушный – насос забирает тепло из окружающего воздуха.
- Тепловой насос вторичного тепла забирает тепло центрального отопления, канализационных стоков и т.д. Использование подобных насосов выглядит перспективным для обогрева промышленных объектов, особенно в том случае, когда имеются источники ненужного тепла, которое подлежит утилизации.

Тепловые насосы можно классифицировать и по видам теплоносителя входного/выходного контура – воздух, вода, грунт, возможны их сочетания.

Геотермальные тепловые насосы

Геотермальные тепловые насосы можно разделить на два типа – замкнутый и открытый. При этом система открытого типа предназначена для нагрева воды, проходящей через тепловой насос, причем после прохождения по системе вода выводится в землю.

Такая система будет идеально работать при наличии большого объема чистой воды с учетом того, что ее потребление не будет наносить вред окружающей среде, и не будет вступать в противоречие с действующим законодательством.

Замкнутые системы, в свою очередь, можно классифицировать по следующим типам:

- Геотермальный с горизонтальным расположением, когда коллектор размещается в траншее ниже глубины промерзания грунта, в среднем, глубина находится в пределах полутора метров. Коллектор следует укладывать кольцами для того, чтобы свести к минимуму земляные работы и обеспечить большой контур на маленькой площади. Этим способом можно пользоваться при наличии свободных земельных участков.
- Геотермальный с вертикальным расположением, когда коллектор размещается на глубине до 200 метров в скважине. Данный способ используется при отсутствии свободных земельных площадей, соответствующих требованиям устройства горизонтального расположения коллектора, что нередко случается при неровном ландшафте местности.



- Геотермальный водный – в этом случае коллектор помещается в водоем ниже глубины его промерзания, укладка также выполняется кольцами. Ограничением применения такой системы может быть только минимальный объем воды или недостаточная глубина водоема.

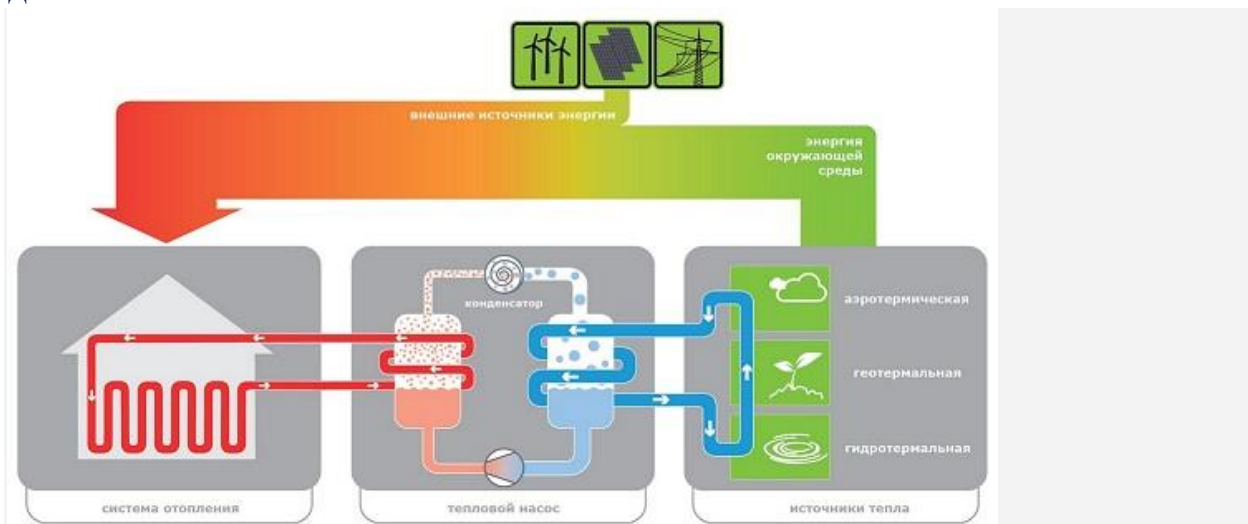
Позитивные и негативные стороны применения теплового насоса

Основным критерием использования теплового насоса является его экологическая чистота и экономичность, правда, стоит учесть, что для его работы необходим источник электрической энергии. В среднем, для передачи 1 кВт/час тепловой энергии в систему отопления должно быть затрачено не больше 0,3-0,35 кВт/час электрической энергии.

Тепловые насосы имеют высокий уровень пожарной безопасности, также их можно эксплуатировать без устройства дополнительной вентиляции. Благодаря тому, что система имеет полностью замкнутый контур, финансовые затраты на эксплуатацию оборудования сводятся к минимуму, платить приходится только лишь за использование электроэнергии, потребляемой оборудованием.

Дополнительное преимущество заключается в возможности кондиционирования воздуха летом, когда подключенные к коллектору теплового насоса фэнкойлы и система «холодный потолок» дают возможность снижать температуру в помещениях.

Тепловые насосы имеют высокую степень надежности, так как управление процессами работы выполняется автоматически. Благодаря этому эксплуатация оборудования не требует специальных навыков, а все основные аспекты работы доступно изложены в инструкции. Тепловые насосы достаточно компактны.



Различные источники тепла для теплового насоса

Главным недостатком любого теплового насоса является его высокая стоимость, а также сложности при выполнении монтажных работ. Для того, чтобы затраты окупались полностью потребуется несколько лет.

Срок эксплуатации подобного оборудования находится в пределах 20 лет, по истечении которых может возникнуть необходимость проведения капитального ремонта. Очевидно, что за один раз придется выложить

немалую сумму для покупки и установки насоса, так что, если для этого брать кредит, то экономическая выгода снизится.

Хотя все выгоды от использования тепловых насосов и являются вполне очевидными фактами, не требующими доказательств, все же подобное оборудование еще не очень широко распространено в частном секторе.

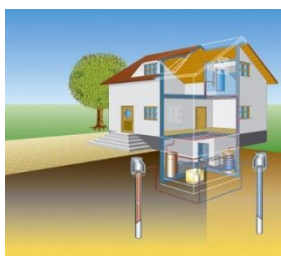
Скорее всего, оборудование станет более популярным в том случае, если его покупка и установка смогут конкурировать по стоимости с подключением и установкой газового оборудования, хотя уже сегодня в некоторых случаях установка теплового насоса оказывается оправданной и с экономической точки зрения.

Принцип работы теплового насоса

Система включает в себя собственно тепловой насос, устройство забора и устройство распределения тепла. Внутренний контур ТН состоит из компрессора, питающегося от электросети, испарителя, дроссельного клапана и конденсатора. Принцип работы был разработан еще в 19 веке и назван «цикл Карно». Происходит это следующим образом:

- В коллектор подается незамерзающая смесь – это может быть вода со спиртом, соляной раствор или гликолевая смесь – которая поглощает тепловую энергию и транспортирует ее к насосу.
- В испарителе энергия переходит к хладагенту (веществу с низкой температурой кипения) от чего последний вскипает и превращается в пар.
- Компрессор увеличивает его давление, а, следовательно, повышается и температура.
- Через конденсатор тепловая энергия передается теплоносителю внутридомовой системы отопления, а хладагент дополнительно охлаждается для «выжима» оставшегося тепла, переходит в жидкое состояние и отправляется обратно в коллектор.

Вертикальный насос типа «грунт-вода»



Расположение зондов теплового насоса типа «Грунт-вода». Необходимо просверлить скважину глубиной от 50 до 150 метров. Затем опустить в нее геотермальный зонд и подключить к насосу

Горизонтальный насос типа «грунт-вода»

В этом случае используется коллектор, образованный системой труб.

Его необходимо расположить ниже уровня промерзания почвы. Точная глубина зависит от климатической зоны и составляет, как правило, 1-1,5 м. Достаточно просто снять слой почвы (при помощи техники или вручную), уложить трубы и осуществить обратную засыпку. Расположение

горизонтального подземного коллектора Есть и еще один способ – прокладка отдельных труб в траншеях. Для его применения необходимо вырыть несколько траншей, глубина которых опять-таки будет превышать глубину промерзания, и уложить в них трубы петель.

Насос типа «Вода-вода»

Коллектор для такого насоса собирают на суше из ПНД-труб, заполняют теплоносителем и только потом переносят к водоему. Расположение коллектора теплового насоса типа «вода-вода» Все трубы необходимо погрузить в воду и аккуратно переместить к центру водоема (или на необходимую глубину).



Насос типа «Воздух-вода»



Такой насос извлекает тепло из воздуха, а значит, его монтаж не требует масштабных земляных работ. Расположение коллектора «воздух-вода» Достаточно выбрать место для установки коллектора недалеко от дома или на его крыше и соединить с системой внутридомового отопления.

Бивалентная схема отопления

Использование такой схемы поможет сэкономить на этапе изготовления и монтажа насоса. Дело в том, что расчет мощности теплового насоса производится исходя из минимальной возможной температуры. Но ведь пиково низкие температуры стоят на улице только очень короткое время, а значит, большую часть года тепловой насос будет использовать только часть своего потенциала мощности. Для того чтобы иметь возможность установки менее мощного насоса параллельно с ним подключают дополнительный источник тепла – электрический котел. Тогда, в сильные морозы вы можете дополнительно «подтапливать» помещение. Учитывая, что таких дней в году бывает немного, такой подогрев не сильно ударит по кошельку, а на стоимости насоса можно значительно сэкономить. Возможно так же использование в качестве дополнительного оборудования котла на твердом топливе. В этом случае в систему отопления необходимо включить байпас.

Преимущества тепловых насосов

- Не требуется топлива. Это главное преимущество. К тому же, при установке насоса нет необходимости получать ТУ и другие разрешения. Можно, конечно, сделать ее своими руками, но все же лучше получить хотя бы консультацию специалиста.
- Очень низкие затраты в процессе эксплуатации. Так, если при установке системы с тепловым насосом и традиционного отопления они практически равны, то в период эксплуатации они значительно меньше. Это и понятно, нет необходимости покупать топливо.



Эффективность работы тепловых насосов

- **Высокая эффективность.** Отопление тепловым насосом очень быстро прогревает дом.
- **Высокая экологичность.** Система отопления с тепловым насосом не причиняет вреда окружающей среде, не вредит экологии, к тому же, она не пожаробезопасна и не взрывоопасна.
- **Высокая надёжность,** а также длительный срок эксплуатации без необходимости проводить капитальный ремонт. Единственное, что раз в год нужно проводить недорогой текущий осмотр. При соблюдении этого условия и при выполнении всех правил эксплуатации отопление с помощью теплового насоса прослужит более 25 лет без проведения кап. ремонта.
- **Нет необходимости в вентиляции** для работы насоса.
- **Система отопления тепловым насосом не издаёт много шума** и отличается небольшими габаритами, что позволяет устанавливать её даже на кухне.
- **Автономность.** Для того чтобы работал тепловой насос системы отопления, нужно только электричество. Если же его отключают, то насос может работать и от дизель-генератора. Также насосы могут использоваться вместе с солнечными коллекторами.
- **Летом** насос может работать в режиме кондиционера. Эта интересная функция поможет сэкономить средства на покупку и установку кондиционера и экономит место. Насос будет работать автоматически и не потребует внимания.



Тепловой насос можно использовать летом как кондиционер

- Высокая цена. Пока что оборудование для теплового насоса достаточно дорогое, по сравнению с другими видами отопления.
- Перед тем, как установить отопление с помощью тепловых насосов, нужно проводить точные расчёты, это может занять время, да и повлиять на цену.
- Нет возможности использовать тепловой насос для отопления в отдельно взятой квартире многоэтажного дома.

Недостатки

Цена

На данный момент цена этих насосов является одним из сдерживающих факторов для широкого распространения. Она высока. Почему?

На это есть несколько причин:

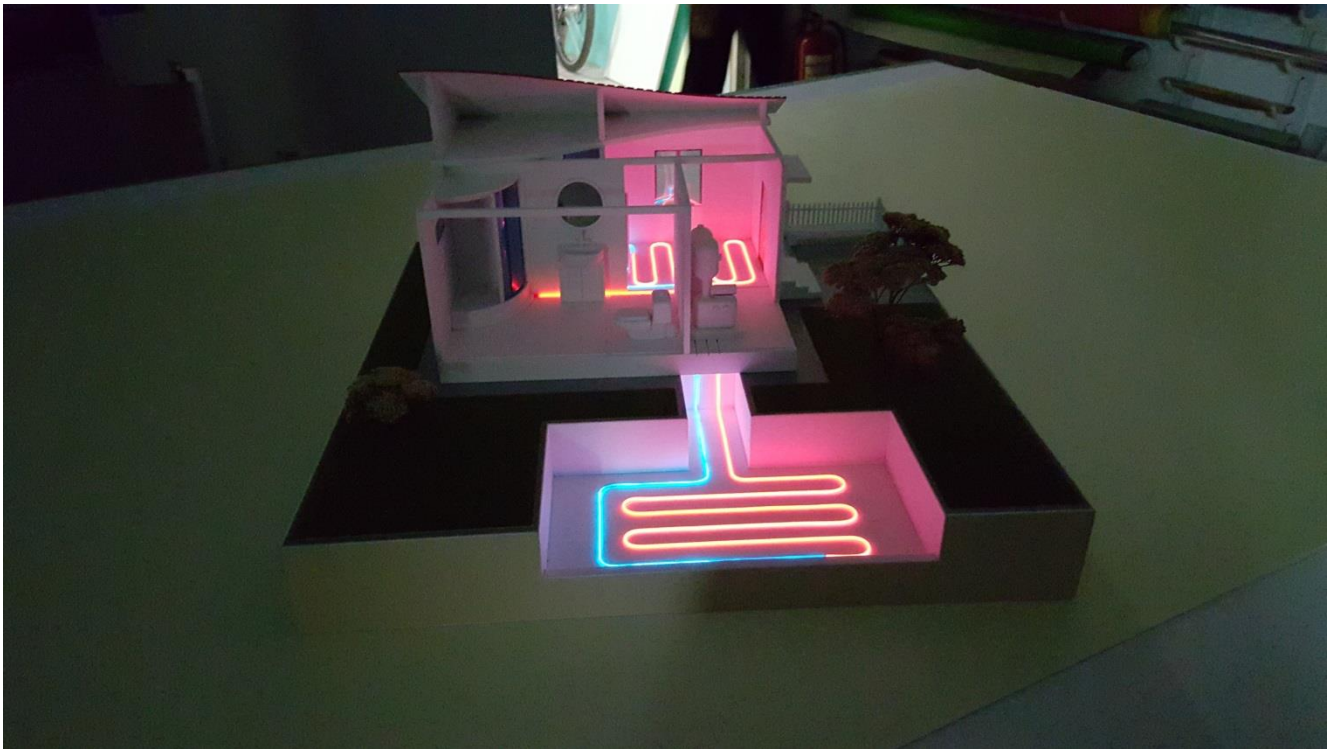
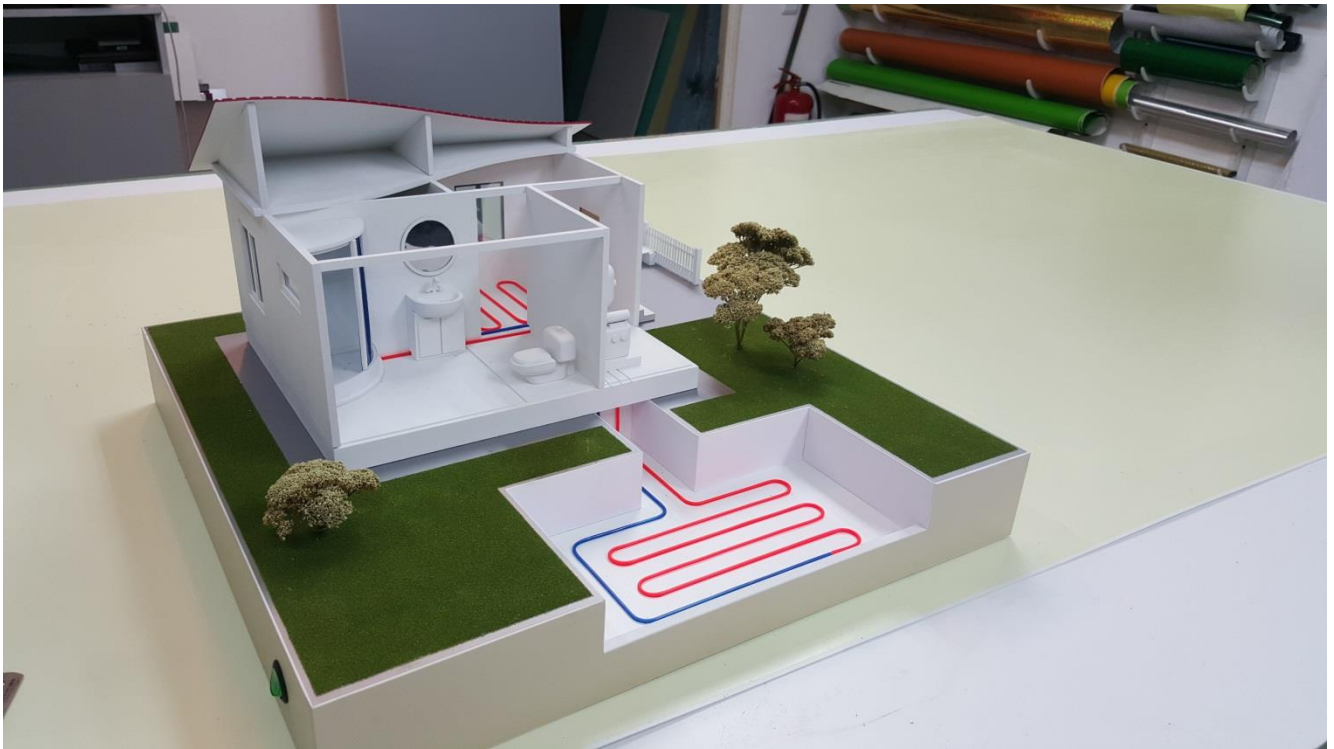
- Необходимый тщательный расчёт для эффективной работы системы, в том числе, исследование источников низкоуровневого тепла, это довольно приличные затраты.
- В стоимость монтажа такого вида, как геотермальное отопление и тепловой насос, входит бурение скважин или закладка коллекторов в землю на большую глубину, что значительно увеличивает растраты. Поэтому самые доступные тепловые насосы системы отопления – это воздушные, их установка не требует подобных работ.



Бурение скважины для теплового насоса

Стоимость насосов может варьироваться, исходя из материала изготовления, конструкции, степени автоматизации и других факторов. Диапазон цен довольно большой, и в принципе, любой покупатель найдёт тот, который будет соответствовать его требованиям, как в цене, так и по качеству. Тем более, что в эксплуатации насосы не требуют затрат и нет необходимости в покупке топлива, а значит, в любом случае, они будут выгодны, какая бы цена не была изначально и, в любом случае, покупатель будет в выигрыше.



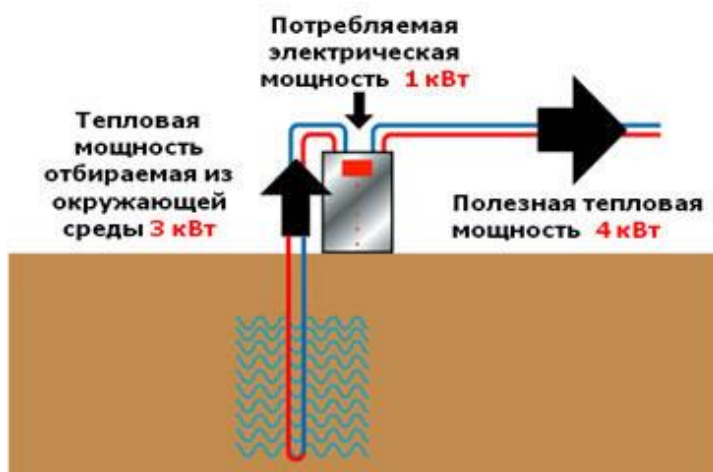


ВЫВОДЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ:

По данным Министерства индустрии и новых технологий потенциал геотермальной энергетики в Казахстане высок, оценивается в 520 МВт (без использования тепловых насосов) или 4300 МВт (при использовании тепловых насосов). Доказанные ресурсы пригодные для производства электроэнергии (Панфиловское поле) составляют 12 МВт для мелового водоносного горизонта. Геотермальное месторождение Капланбек (недалеко от города Чимкент), с температурой воды 80°C , используется для теплоснабжения жилых домов. Рядом с городом Алматы геотермальный источник с температурой $80-120^{\circ}\text{C}$ используется для отопления теплиц зимой и кондиционирования летом. На состояние 2007 года, Казахстан не использует геотермальные ресурсы для производства электроэнергии. Наиболее перспективные геотермальные резервуары были обнаружены в меловых образованиях на юге и юго-западе Казахстана. Поэтому считаю, что необходимо расширить применение тепловых насосов в РК.

Предлагаю объединить в одной технической системе по выработке тепла энергетических и теплонасосных технологий позволяющие получить максимальный эффект от использования первичного топлива.

Мировые запасы топлива истощаются, а значит, будущее за тепловыми насосами и им подобным. Всё больше и больше людей во всём мире предпочитают именно такие системы отопления, а высокая стоимость с лихвой окупается качественной и длительной работой, а также не нужно забывать, что нет трат на топливо, это, несомненно, главный плюс. К тому же, потребляя 1 кВт электроэнергии, такой насос вырабатывает 4-5 кВт тепловой энергии.



ОСНОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

t, T - температура, °С, К

$\Delta t, \Delta T$ - разность температур, °С, К

P - давление, МПа

h - энтальпия, кДж/кг;

S - энтропия, кДж/(кг·К)

e - удельная эксергия, кДж/кг

q - плотность теплового потока, Вт/м²

Q - теплопроизводительность (тепловая нагрузка), Вт

N - электрическая мощность, Вт

W - годовое потребление электроэнергии, МВт·ч/год

B - расход топлива, кг

b - удельный расход условного топлива, кг.у.т./ГДж

$\eta_{\text{фен}}$ - коэффициент собственных нужд КЭС

W - скорость, м/с

G - массовый расход, кг/с

V - объемный расход, м³/с

k - коэффициент теплопередачи, Вт/(м²·К)

R - термическое сопротивление, м²·К/Вт

c_p - изобарная массовая теплоемкость, КДж/(кг·К)

λ - коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)

$\eta_{\text{к}}$ - коэффициент подачи компрессора;

D - потери эксергии, кДж/кг

E_d - суммарные потери эксергии, кДж/кг

A_d - устраненные потери эксергии, кДж/кг

$d^{*\wedge}$ - собственные потери эксергии, кДж/кг

d^{\wedge} - технические потери эксергии, кДж/кг

внутренние потери эксергии, кДж/кг

- внешние потери эксергии, кДж/кг

F, f - площадь, м²

d - диаметр труб, м

ρ - плотность, кг/м³

V - удельный объем, м³/кг

t - время, сек

η_1 - степень сжатия в компрессоре

η_9 - степень регенерации в регенеративном теплообменнике

η_j - коэффициент преобразования (трансформации) теплового насоса

$\eta_{\text{т}}$ - энергетический КПД

$\eta_{\text{тэ}}$ - эксергетический КПД

L - расстояние, м

η_q - коэффициент работоспособности теплоты

$\eta_{\text{Эв}}$ - удельная затрата работы в идеальном теплонасосном цикле

K - капитальные вложения, руб.

C - эксплуатационные расходы, руб/год

Z - приведенные затраты, руб/год

ΔE - годовой экономический эффект, руб/год

ИНДЕКСЫ И СОКРАЩЕНИЯ

ТН - тепловой насос

ТПУ - теплонасосная установка

ДТП - двухцелевой тепловой насос

ДТ1ТУ - Двухцелевая теплонасосная установка

ХМ - холодильная машина

К - конденсатор

И - испаритель

КМ - компрессор

РТ - регенеративный теплообменник

ПР - привод компрессора

ДР - дроссель

ОП - охладитель перегретых паров рабочего тела

о - кипение

зк - зона конденсации

'^ зоп - зона охлаждения перегретых паров рабочего тела

внут. — внутренний

внеш. - внешний

н, нар - наружный

вх - вход

вых - выход

от - отопление

f гв - горячее водоснабжение

НПИТ — низкопотенциальный источник теплоты

ВЭР - вторичные энергоресурсы

СГВ - система горячего водоснабжения

СО - система отопления

СВ - система вентиляции

СКВ - система кондиционирования воздуха

ТСТ - теплонасосная станция теплоснабжения

СТС - система теплоснабжения

ДСТС - децентрализованная система теплоснабжения

ТОА - теплообменный аппарат

ПГВ - подогреватель горячей воды

ф ПК - пиковая котельная

БА - бак-аккумулятор

Н - насос

год - годовой

нв - наружный воздух

р - расчетный

гр - грунт

k пов - поверхность

Φ пот - потери

Использованная литература

1. Бабакин Б.С. Хладагенты, масла, сервис холодильных систем: Монография. - Рязань: Узорочье. – 2003. – 470 с.
2. Пустовалов Ю.В. Эксергический анализ парокомпрессионной теплонасосной установки с электроприводом. Системы теплоснабжения с нетрадиционными теплоисточниками. 1982. Тр. Ин-та ВНИПИЭнергопром.
3. Боровков В.М., Аль Алавин А.А. Энергосберегающие теплонасосные системы теплоснабжения // Изв. вузов. Проблемы энергетики. - 2007. - N 1-2.
4. Быков А.В., Калнинь И.М., Крузе А.С. Холодильные машины и тепловые насосы. -М.: Агропромиздат, 1988. -304 с.
5. Накоряков В. Е. Метод оценки тепломассообмена при неизотермической абсорбции / В. Е. Накоряков, С.Л. Елистратов // Теплоэнергетика.- 2009.- №3.– С. 30-33.
6. Накоряков В. Е. Передовые схемные решения теплонасосных установок / В. Е. Накоряков, С. Л. Елистратов // Известия Вузов. Серия: Проблемы энергетики.- 2007.- № 11-12. - С.64-75.
7. Накоряков В. Е. Энергетическая эффективность комбинированных отопительных установок на базе тепловых насосов с электроприводом / В. Е. Накоряков, С. Л. Елистратов // Промышленная энергетика.- 2008.- №3, – С.28-33.
8. Елистратов С. Л. Оценка границ технико-экономической эффективности применения тепловых насосов / Елистратов С. Л. // Вестник ЮУрГУ. Серия: Энергетика. – 2009. - №15. – С.72-78.
9. Накоряков В. Е. Экологические аспекты применения парокомпрессионных тепловых насосов / В. Е. Накоряков, С. Л. Елистратов // Известия РАН. Се-рия: Энергетика. – 2007.- № 4. – С.76-83.