

Тестирование тепловых насосов

Применение тепловых насосов в низкоэнергетических и пассивных зданиях

Тепловые насосы в жилых зданиях

Теплонасосные станции

БИБЛИОТЕКА ЭНЕРГОСВЕРЖЕНИЯ

Энергосервисная компания «Экологические Системы»
представляет свой информационный проект -
сборники серии: «Тепловые насосы».



Подробная информация:
www.es-library.narod.ru
www.library.esco.co.ua
e-mail: es-library@narod.ru

Издатель:
ООО Энергосервисная компания
«Экологические Системы»
Украина, 69035, г. Запорожье, пр. Маяковского, 11
тел. (38 061) 224-68-12,
факс (38 061) 224-66-86,
www.ecosys.com.ua
inform@ecosys.com.ua

Учредитель и издатель:

« »

Главный редактор:

Василий Степаненко

Ответственный редактор:

Елена Ряснова

Редакционный совет:

Александр Викторович Суслов,
GreenBuild,

Александр Владимирович Трубий,

« »,

Виктор Федорович Гершкович,

« »,

Николай Маранович Уланов,

Константин Константинович Майоров,

« »,

Сергей Викторович Шаповалов,

« »,

Виталий Дмитриевич Семенко,

« »,

Юрий Маркович Петин,

« »,

Валерий Гаврилович Горшков,

« »,

Редакция:

Адрес редакции:

, 69035, .
11.

/ : (+38061) 224-66-86

e-mail: tn@esco.co.ua, s_solar@mail.ru
www.tn.esco.co.ua, www.hpmagazine.ru

Тестирование тепловых насосов

- Marek Miara. Результаты проекта полевого испытания эффективности теплового насоса или резервный нагреватель под подозрением 6
- Bernd Klein. Влияние качества теплового насоса на эффективность его работы 8

Применение тепловых насосов в низкоэнергетических и пассивных зданиях

- Frederic Genest, Vasile Minea. Низкоэнергетическое коммерческое здание, оборудованное грунтовыми тепловыми насосами 9
- Jorn Stene. Интегрированные теплонасосные системы на хладагенте CO₂ в низкоэнергетических и пассивных домах 15

Обзор рынков тепловых насосов

- Wilko Planje. Подземные системы становятся более популярными в Нидерландах 22

Тепловые насосы в жилых зданиях

- Н. М. Уланов. Теплоснабжение коттеджей и квартир с помощью тепловых насосов с электротеплоаккумуляторами 25
- А. В. Суслов. Специфика российского рынка тепловых насосов и перспективы его дальнейшего развития 31

Теплонасосные станции

- А. А. Потапова, И. А. Султангузин, Т. П. Шомова, П. А. Шомов. Применение тепловых насосов в системе теплоснабжения промышленного предприятия и города 39



Василий Анатольевич Степаненко,
главный редактор журнала
«Тепловые насосы»



Александр Викторович Суслов,
заместитель главного редактора
журнала «Тепловые насосы», пред-
ставитель редакции журнала в РФ.

e-mail: s_solar@mail.ru
сайт: hpmagazine.ru

Уважаемые читатели!

У журнала «Тепловые насосы» появился постоянный представитель в России. Александр Суслов известен читателям многих профессиональных изданий своими статьями о применении тепловых насосов. Я хочу представить нашим читателям нового заместителя главного редактора журнала с особыми полномочиями – представлять нашу редакцию в Российской Федерации.

Проект издания «Тепловые насосы» постепенно обретает глубину, растёт наш редакционный совет и мы начали обсуждение новой темы – подготовки первой российско-украинской конференции, посвящённой теплонасосной технике. Этой теме в нашем журнале (и на сайте журнала) будут посвящены отдельные страницы.

А сейчас я хочу предоставить слово Александру Суслову.

Уважаемые читатели!

Эффективное использование энергии всё более осознаётся не просто как веяние времени, но как насущная необходимость выживания человечества на этой планете. И если в одних случаях энергодефицит создаёт проблемы для цивилизованного существования общества, в других - угрозу жизни на Земле. Там, где условием обитания в окружающей среде является потребность в теплоснабжении, эффективное использование энергии, без тепловых насосов сегодня просто невозможно.

На фоне триумфа тепловых насосов в Европе, обидным является практически полное отсутствие их использования в России - стране хотя и энергоизобильной, но и с самым холодным на планете климатом. Их практически не используют и в Украине - стране с быстро стареющим теплоснабжением. Появление журнала «Тепловые насосы» должно помочь становлению теплонасосного рынка в наших странах и создать информационную площадку для обмена опытом, идеями, знаниями и технологиями.

В период 2005-2009 гг. в Европе было продано 2 129 929 тепловых насосов, с суммарным потенциалом энергосбережения 29,96 ТВт-ч/год. Мы пропустили новую энергетическую революцию в мире, без внимания остался новый колоссальный рынок источников тепловой энергии. Появившиеся в начале века низкотемпературные воздушные тепловые насосы - НВТН в буквальном смысле произвели революцию на рынке систем теплоснабжения - практически все известные производители газовых котлов начали выпуск тепловых насосов. Поскольку в наибольшей степени этот процесс касается северных стран, явно затянувшаяся непричастность России и Украины выглядит ещё противоестественней.

Отмеченный триумф НВТН, сменил потребительские акценты, не только существенно расширил аудиторию потенциальных потребителей тепловых насосов, но и значительно пополнил дивизион потенциальных брендов-производителей. Сегодня тепловые насосы, пригодные к использованию в условиях холодного климата, доступны не только в фирмах, официально позиционирующих себя в качестве теплонасосных, но и в фирмах, традиционно позиционирующих себя в качестве климатических - специализирующихся на кондиционировании. Появление НВТН даёт возможность последним кардинально переосмыслить мотивацию своего вхождения на рынок теплоснабжения - гораздо более перспективный в странах с холодным климатом, чем рынок кондиционирования. Привлечь этот солидный профессиональный клан на наиболее динамичный сегодня и невосприимчивый к стагнации рынок теплоснабжения - одна из основных и принципиальных задач журнала.

С момента первого официального анонса о появлении НВТН в России - в 2006 году, автор этих строк приступил к исследованию, а с 2008 года - к практическому изучению возможности использования НВТН в нашей стране. Анализ результатов этих опытов нашёл отражение в статьях, опубликованных за этот период. Сегодня выводы этого анализа нашли подтверждение в зарубежных источниках, ставших общедоступными. Коммерческий потенциал НВТН очевиден редакции, поэтому дальнейшие успехи развития этого перспективного направления будут освещаться в журнале регулярно и самым подробнейшим образом.

Все фирмы, имеющие в своём ассортименте НВТН, могут рассчитывать на возможность продвижения в специальном разделе журнала «Воздушные тепловые насосы», посвящённого, преимущественно, НВТН. Помимо постоянно действующего раздела в российском представительстве журнала всегда можно будет получить любые необходимые рекомендации, консультации и непосредственную техническую поддержку относительно использования НВТН.

Хотя с начала продвижения тепловых насосов в России и Украине успели появиться уже десятки специализированных фирм, плоды их деятельности не стали ни достоянием официальной статистики, ни основой для заметного процветания. Сегодня каждый из участников зарождающегося сообщества предоставлен самому себе, а многие живут буквально от заказа до заказа. Не секрет, что многие фирмы продолжают деятельность только в надежде на благоприятные перемены в будущем и вынуждены существовать за счёт смежных профессий, как основного источника существования. Не секрет, что материальный аспект этих ожиданий сводится к появлению государственной поддержки.

Объединить и солидаризировать профессиональное сообщество, организовать профессиональные контакты и общение, наладить информационное обеспечение, сотрудничество и способствовать разумной кооперации - вот новые цели нашего проекта.

Результаты проекта полевого испытания эффективности теплового насоса или резервный нагреватель под подозрением

Статья взята из European Heat Pump NEWS 2 August 2010

« »

Marek Miara

Впечатляющие показатели статистики продаж тепловых насосов указывает на непрекращаемый рост их популярности как отопительных систем. В настоящее время тепловые насосы стали конкурентоспособной рыночной технологией, способной удовлетворить соответствующим требованиям сезонной производительности (SPFs). Известно, что работа резервного нагревателя отрицательно влияет на фактор SPFs. При работе грунтовой теплонасосной системы (GSHP) резервный нагреватель является дополнительным источником отопления. Резервный нагреватель в системе воздушных тепловых насосов (ASHP) является частью отопительной стратегии и включается регулярно, когда наружная температура опускается ниже определенного заданного предела. В этой статье рассмотрена работа резервного нагревателя и предоставлены данные, измененные в ходе проведенных полевых испытаний Институтом солнечных энергетических систем Фраунгофера (Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme — ISE).

The Fraunhofer ISE оценивает эффективность и анализирует поведение теплонасосной системы в реальных условиях с 2007 года. К 2013 году завершались крупномасштабные полевые испытания "HP Monitor". Результаты, изложенные в этой статье, основаны на проекте полевых испытаний "HP Efficiency", целью которого является испытание тепловых насосов различных типов (воздушных,

грунтовых, использующих водоносный подземный горизонт) с малой исходящей мощностью (5-10кВт). В проекте проходят тестирование 100 тепловых насосов, установленных преимущественно в новых жилых зданиях. В 2009 году потребность в тепловой энергии для этих зданий составила от 32 до 169 кВт/(м²год), а в среднем 71 кВт/(м²год). Кроме того в большинство (90%) теплонасосных систем входят напольные обогреватели, что позволяет использовать низкую входящую температуру около 36°C. Дополнительная информация изложена в ENHPA-Newsletter №2 (December 2009). Для изучения работы резервного нагревателя необходимо задать граничными условиями. Таким образом, значения показателя SPF 1 зависят от количества потребленной электроэнергии компрессором, насосом, перекачивающим хладагент (вентилятором для воздушного теплового насоса), контроллером. Фактор SPF 2 рассматривается дополнительно, в случае потребления энергии электрическим резервным нагревателем. В статье предоставлено соответствие произведенной тепловой энергии с оценкой фактора SPF.

На рис. 1 (GSHP) и рис. 2 (ASHP) показана динамика факторов SPF в течение двух лет. Усредненная доля использования электрической энергии на отопление помещений от общего объема потребленной энергии составила 2% (ASHP: 3%). В зимний период этот показатель уменьшается. Таким образом, следует рассмотреть ежемесячное потребление электрической энергии. В некоторых случаях постоянное использование нагревательных приборов приводит к осушению здания. При применении воздушных тепловых насосов ASHPs следует контро-



Рисунок 1: Значения фактора SPF за месяц с учетом и без учета резервного нагревателя. Среднее значение фактора SPF за 2008 и 2009 года. Доля электрической энергии, потребляемой грунтовыми тепловыми насосами



лизовать работу электрических нагревателей исходя из погодных условий в каждом месяце. Если рассматривать весь отопительный период, работа электрического нагревателя приводит к увеличению показателя SPF 1 над SPF 2 примерно на 0,06 единиц (ASHP:0,06), максимальная разница между этими двумя показателями за месяц составляет около 0.09 (ASHP: 0.13). На рис. 3 показан обзор работы электрических нагревателей на отдельных объектах. Каждый бар показывает количество электрической энергии, потребляемой электрическими резервными нагревателями по отношению к общему объему потребляемой электроэнергии компрессором, насосом, вентилятором в первичном контуре. Период испытаний зависит от индивидуального времени работы объекта. В левой части графика показаны грунтовые тепловые насосы. Электрический обогреватель

входит в состав около 30% систем грунтовых тепловых насосов. В правой стороне диаграммы показана работа резервного нагревателя в системе отопления с воздушным тепловым насосом в стандартном режиме. Почти все исследованные системы с воздушными тепловыми насосами разной мощностью были оснащены электрическими нагревателями, включая резервные нагреватели, используемые при пониженных температурах во время отопительного периода.

Заключение:

- результаты исследований сходны как для грунтовых, так и для воздушных тепловых насосов с применением резервного нагревателя или без него;
- если резервный нагреватель включают редко, это оказывает незначительное влияние на работу системы в целом;
- резервный нагреватель в системах с воздушными тепловыми насосами используется регулярно, а в системах с грунтовыми тепловыми насосами в зависимости от неисправностей и степени высыхания здания.

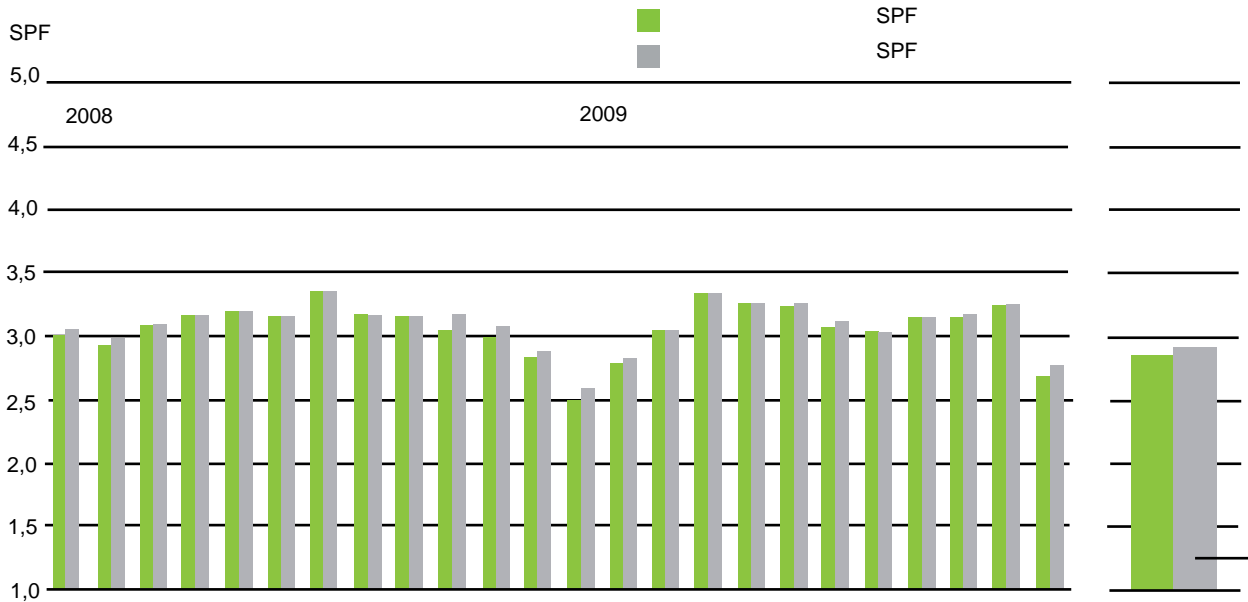


Рисунок 2. Показатель SPF за месяц с учетом и без учета резервного нагревателя и его среднее значение за 2008 и 2009 года, доля электрической энергии, использованной грунтовыми тепловыми насосами

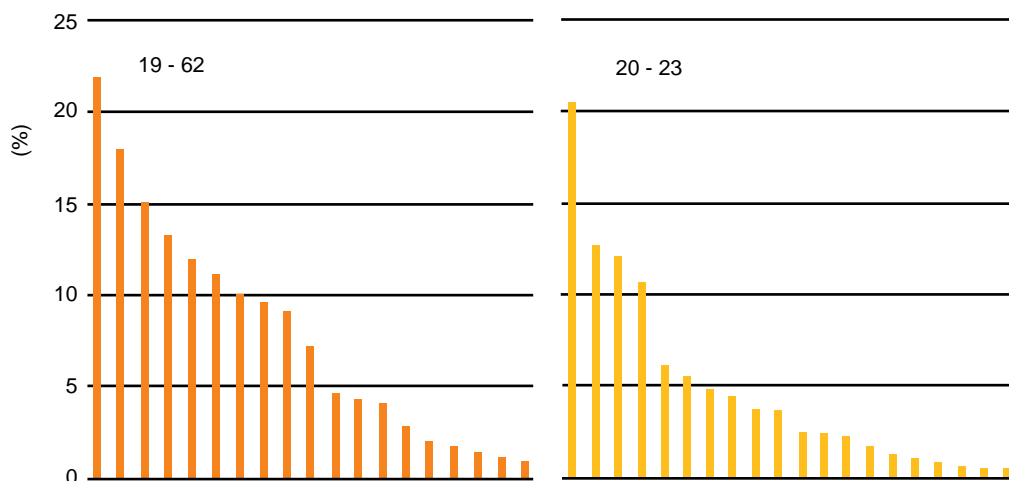


Рисунок 3. Доля электрической энергии, потребленной резервным нагревателем в грунтовых и воздушных теплонасосных системах за период исследования

Влияние качества теплового насоса на эффективность его работы

Статья взята из *European Heat Pump NEWS* December 2009

« »

Bernd Klein

Тепловые насосы - высокоэффективное оборудование для производства тепловой энергии. Это проверенная и доступная технология, которая позволяет в значительной степени увеличить долю использования возобновляемых источников. Для того чтобы в полной мере извлечь этот потенциал, большинство устройств должны работать с высокой эффективностью на протяжении всего рабочего цикла.

Коэффициент COP является основным показателем эффективности работы тепловых насосов. Он показывает соотношение полезной тепловой мощности к потребляемой энергии. Коэффициент COP является ключевым показателем, используемым для сравнения оборудования и для расчета потенциала экономии. Высокое значение COP является очевидным конкурентным преимуществом.

Основные различия в энергетической эффективности оборудования существуют из-за того, что нет единых нормативных требований сертификации указанных значений. Производители, которые в тестовых испытаниях не применяют специализированную измерительную аппаратуру, часто заявляют о теоретически посчитанных или приблизительно оцененных коэффициентах COP. Обычно значения коэффициента COP, полученные таким образом, далеки от измеренных в процессе лабораторных испытаний значений. Кроме того, в такие расчеты не учитывают нестандартные особенности конструкции.

Опыт показывает, что при невыполнении обещаний высокой производительности наносится непоправимый ущерб имиджу тепловых насосов, что является весомой потерей для всей отрасли. Поэтому для доверия потребителей и существования справедливой конкурентоспособности необходимо гарантировать реальность коэффициента COP. С этой целью необходимо учредить независимый знак качества тепловых насосов. Благодаря этому производитель сможет гарантировать надежность основных технических показателей.

Для осуществления этих целей "ENPA Quality Label for heatpumps" (Знак качества тепловых насосов Европейской ассоциации Тепловых насосов) помимо других притязаний, требует независимой оценки показателей эффективности работы оборудования при различных условиях эксплуатации. Это гарантирует надежность и соответствие действительности технических показателей сертифицированных устройств. Методы измерения коэффициента COP зависят от условий эксплуатации и утверждены стандартом EN14511. Коэффициент

COP измеряется при тестировании тепловых насосов на испытательном стенде при определенных стационарных условиях. Чтобы получить адекватные результаты с низкой погрешностью, тестовые испытания должны проводиться при четко определенных условиях с наименьшим допустимым отклонением. Методика проведения тестовых испытаний описана в правилах тестирования ENPA (Европейская ассоциация тепловых насосов).

Испытания могут проводиться в любой признанной ENPA лабораторией:

- AIT (Wien, AT)
- TUV Rheinland (Köln, DE)
- HLK (Universität Stuttgart, DE)
- VDE (Offenbach, DE)
- SP (Boras, SE)
- WPZ (Buchs, CH)
- TUV Sud (München, DE)

Все тестовые лаборатории предоставляют качественные и независимые результаты. Они прошли аккредитацию по стандарту EN ISO 17025.

Результаты тестовых испытаний, проведенных в любой из вышеуказанных лабораторий, котируются во всех других странах-членах ЕС. Следующие семь стран ввели знак качества: Австрия, Швеция, Бельгия, Финляндия, Швейцария, Франция, Германия. Существует значительный потенциал тестирования тепловых насосов.

В настоящее время доступна сертификация тепловых насосов с электрическим приводом таких типов: воздух/вода, грунтовых, водяных и с прямым испарением/вода для отопления или горячего водоснабжения.

Еще одна положительная сторона знака качества – надежная сервисная сеть обслуживания. Но так как она индивидуальна для каждой страны, знак качества действителен только в том государстве, в котором он выдан.

Знак качества Швейцарии обладает особенно высоким приоритетом, благодаря государственной поддержке внедрения технологии тепловых насосов. Таким образом, в какой-то мере, в этой стране сертификация осуществляется принудительно. Существует надежда на дальнейшее укрепление авторитета знака качества в других странах. Этого можно добиться путем его агрессивного использования производителями как маркетингового инструмента, а так же и в целях его государственного финансирования. Это было бы выгодно всей отрасли, так на рынок приходило бы только качественное оборудование.

Низкоэнергетическое коммерческое здание, оборудованное грунтовыми тепловыми насосами

Статья взята из IEA Heat Pump Centre Newsletter Volume 26 - No. 2/2008

« »

**Frederic Genest,
Vasile Minea**

В этой статье приводится описание совместной работы грунтовых тепловых насосов и напольных нагревателей для отопления и охлаждения низкоэнергетического коммерческого здания в Канаде. Благодаря двухступенчатой системе управления блока наружной предварительной подготовки воздуха с использованием в качестве источника тепла отработанного воздуха, рекуперации тепла от геотермального источника, гибридной вентиляционной системе, оптимизации естественного освещения и улучшенной изоляции здания, ежегодное потребление электрической энергии сократилось на 71.4% по сравнению с базовыми значениями стандартного здания в условиях холодного климата.

Введение

При проектировании здания необходимо добиться таких основных целей: сократить потребление энергии и минимизировать негативное влияние на окружающую среду. Использование грунтовых тепловых насосов, рекуперации тепла отработанного воздуха с геотермальным естественным охлаждением, активной и пассивной солнечной энергии, естественной вентиляции и освещения позволяет достичь высокой энергетической эффективности здания, построенного в условиях холодного климата.

Характеристики здания

Общая площадь коммерческого здания - 4180м², 19% которой занимают складские и офисные помещения в соответствии с Канадским стандартом C 2000 (Canadian C 2000 standard) для зданий с высокой энергетической эффективностью (Genest, Charneux 2005). Здание расположено в городе с холодными климатическими условиями (Монреаль) с расчетной температурой около - 21,7°C зимой и 28,3°C (сухой термометр), 21,1°C (мокрый термометр) летом. Тепловое сопротивление стен здания и крыши соответственно составляет 6,2 м²К/Вт и 7м²К/Вт, что в два раза выше требуемых для этой местности показателей. В здании установлены двойные низкоэнергетические стеклопакеты, защищающие здания от воздействия ультрафиолетового облучения (1,87 Вт/м²К). Общий усредненный показатель защиты от ультрафиолетового излучения для всего здания составляет 0,54Вт/м²К. Система окон была спроектирована таким образом, что бы в здание поступало 325 люкс дневного света, в то время как потребность в искусственном освещении составляет 14 Вт/м². Удельная мощность на 48% ниже требований Канадских национальных энергетических норм (Canadian National Energy Code for Buildings requirement). Отличительной чертой является то, что система отопления, вентиляции и воздушного кондиционирования (HVAC - Heating,

Ventilation, and Air Conditioning) включает в себя крупный (1,2м×1,2м) подземный туннель вентиляции, расположенный по периметру здания. При работе с максимальной мощностью он поставляет 5,6 л/см² наружного воздуха, что в приблизительно 4 раза выше минимальных требований стандарта Американского общества инженеров по нагреванию, охлаждению и кондиционированию воздуха (ASHRAE - American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers). Эта система работает при температуре наружного воздуха по мокрому термометру от 12,8°C до 26,7°C, но только при условии, что точка россы ниже 18,3°C (с целью предотвращения конденсации на холодных бетонных плитах). В том случае, когда наружная температура находится вне этого диапазона, включается, расположенный на крыше, блок преобразования наружного воздуха (рис.1), двигатель вентилятора которого работает с переменной скоростью и управляются CO₂ сенсорами. Этот блок подогревает (зимой) и осушает (летом) чистый наружный воздух и работает все время для поддержания уровня CO₂ внутри помещения в районе 900 ×10⁻⁶. В режиме обогрева для поддержания температуры приточного воздуха между 22°C и 13°C работает циркуляционный насос P4 и трехходовой клапан D. В режиме естественного охлаждения приточный воздух осушается при температуре 12°C.

Грунтовая теплонасосная система

Геотермальная система состоит из двух секций вертикальных грунтовых теплообменников (зона1). Общая глубина двенадцати скважин составляет 175м (рис.1). Секция№1 охватывает основную часть напольного отопления здания, расположенную в торговых и офисных помещениях (зона 2) , периферические помещения (зона 3) с блоками воздушного отопления (кассовые зоны, кафе, лестничные проемы) и напольным обогревом. Внутренняя температура этих помещений автоматически корректируется в зависимости от погодных условий, получаемых из сети Интернет. Эта стратегия ускоряет заблаговременное поступление энергии к плитам в холодные дни зимой и жаркие дни летом (плиты медленно реагируют на изменение температуры). Секция №2 оснащена блоком преобразования наружного воздуха (зона 4) с механизмом управления энтальпией (75% тепловой эффективности) и геотермальной катушкой прямой рекуперации тепла. Во внутреннем контуре здания и в замкнутом контуре рекуперации тепла в качестве геотермального теплоносителя используется смесь пропиленгликоль/вода (50% от всего объема). Даже, несмотря на то, что пропиленгликоль более вязкий, чем другие теплоносители и сложнее поддается управлению при холодных погодных условиях, он рекомендован к использованию в Канаде благодаря своей безопасности, негорючести и коррозионной стойкости. Восемь водяных тепловых насосов номинальной мощностью охлаждения 28 кВт на хладагенте HFC-407C соединены с секцией грунтовых теплообменников. Небольшие насосы

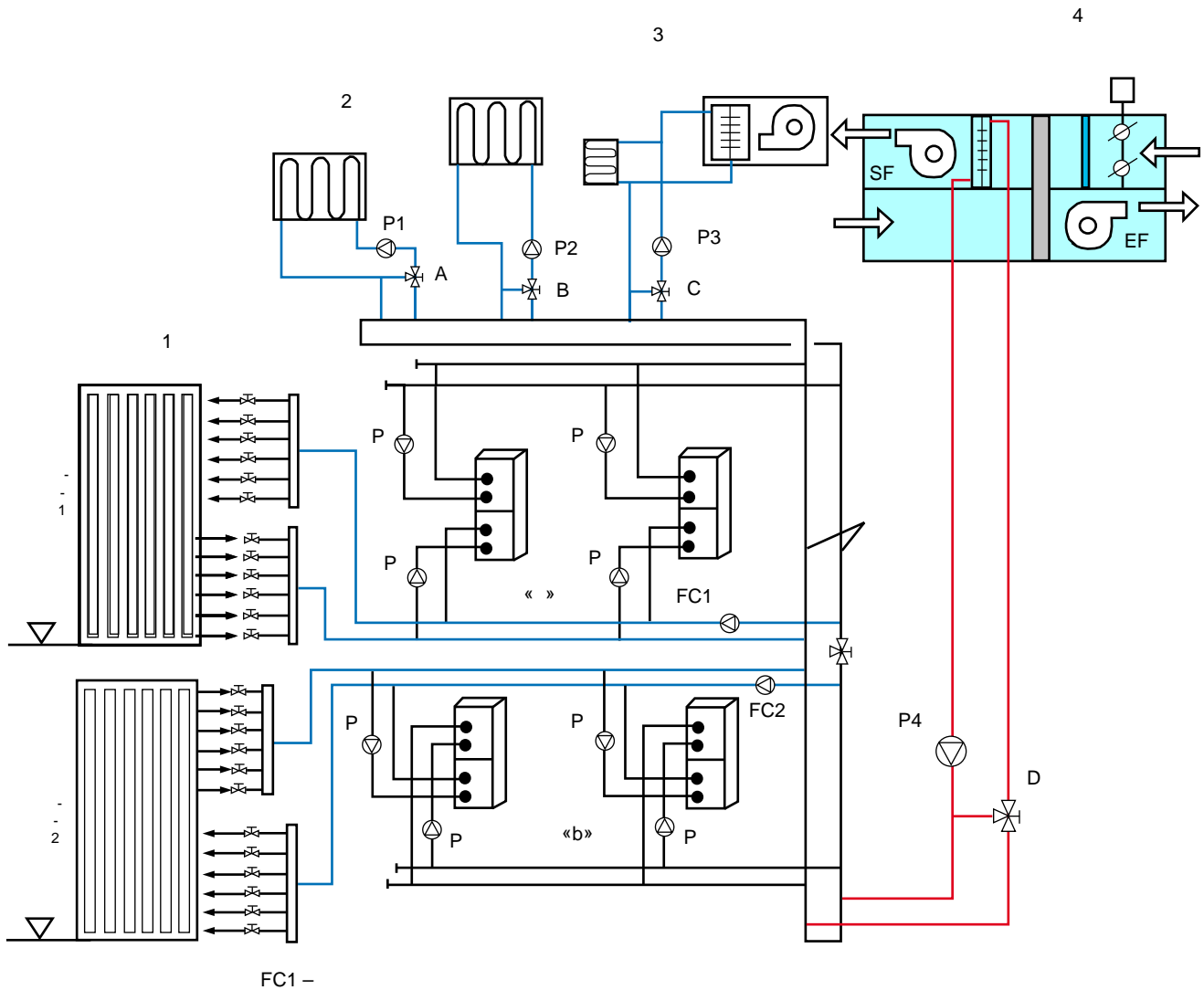


Рисунок 1. Конфигурация грунтовой теплонасосной системы здания

(P) перегоняют геотермальный теплоноситель через сторону источника тепла каждого насоса, что исключает использование больших геотермальных насосов. Первая группа «а», состоящая из четырех тепловых насосов, снабжает тепловой энергией систему напольных нагревателей и блоки подогрева воздуха, в то время как группа «б» – блоки подготовки воздуха, расположенные на крыше здания. Работа в режиме геотермального естественного охлаждения обеспечивается циркуляционными насосами FC1 и FC2. Цель их работы - свести к минимуму использование тепловых насосов в режиме естественного охлаждения. Для того чтобы избежать высокого потребления энергии вентиляторами, система отопления и охлаждения здания включает в себя излучающие бетонные плиты на этажах совместно с эластично скрепленными полиэтиленовыми трубами (flexible cross-linked polyethylene piping - PEX). PEX трубы длительного пользования, прочные, устойчивы к влиянию агрессивных бетонных добавок и пригодны к использованию более 50 лет. Гидравлические излучающие плиты позволяют расширить диапазон внутренних температур от самого низкого показателя 18,3°C зимой до 26,7°C летом. Это снижает тепловые потери через изоляцию здания и требуемую мощность геотермальной системы.

Геотермальное отопление

При работе в режиме отопления геотермальный теплоноситель поступает из секции №1 грунтовых теплообменников в систему теплого пола. Так как напольные теплообменники характеризуются низкой рабочей температурой, грунтовые тепловые насосы являются наиболее подходящей для этих целей системой. Теплый пол обеспечивает комфортные условия внутри помещения из-за отсутствия сквозняков, адекватная тепловая масса позволяет избежать больших температурных колебаний. Температура внутри помещения может быть установлена на уровне 20°C, в отличие от 22°C, требуемых стандартными системами. При работе в этом режиме, когда температура наружного воздуха ниже 12°C, включают насосы P1, P2, P3 и вводится в работу зона 1,2,3. Трехходовой клапан A,B,C модулирует поток для поддержания температуры возвратной воды на установленном уровне от 36°C до 20°C в соответствии с температурой наружного воздуха от -25°C до 15°C. Программа учета показаний изменения погодных условий, работающая с двенадцати часов дня и до полночи, корректирует наружную температуру воздуха в соответствии с прогнозами ночной температуры и задает соответствующие значения для системы водоснабжения. Во время наиболее холодного зимнего месяца (январь), гео-

термальным теплоносителем поступает в тепловой насос с температурой около -3°C , в то время как средняя температура, пониженная проходя через грунтовой теплообменник, составляет около 4°C (рис. 2) (Minea 2005). Оба параметра показывают, что в этом случае реальный расход геотермального теплоносителя был на 40% ниже запроецированного значения. Следовательно, средний показатель коэффициента производительности COP находился в районе 3,3 единиц. Это явление наблюдалось еще несколько раз после того, как при чистке и балансировке системы был открыт вторичный контур (Genest, Minea 2006).

Геотермальный теплоноситель подавался в систему теплого пола и блоки нагрева воздуха (зона 2,3) при температуре от 35°C до 38°C , в то время как средний перепад температур в зонах отопления поддерживался на уровне 10°C (рис.3). Такая относительно низкая температура геотермального источника тепла идеально подходит для системы напольного отопления, так как температура плиты в основном составляет 26°C (но не более 29°C).

Естественное и геотермальное охлаждение

Все системы охлаждения воздуха в зданиях работают только за счет конвекции. Альтернативное решение состояло в том, чтобы обеспечить охлаждение здания с использованием комбинированной технологии излучения (60%) и конвекции. Такая система обеспечивает охлаждение поверхности плит помещения, а не воздушного пространства, таким образом, разделяет поставленные задачи вентиляции и кондиционирования. В то время как первичное распределение воздуха используется для удовлетворения вентиляционных требований к высокому качеству воздуха, вторичная геотермальная система распределения теплоносителя удовлетворяет необходимым тепловым условиям здания. Следовательно, это существенно сокращает количество перемещаемых воздушных масс через площадь здания. Более того, по сравнению со стандартными требованиями площадь вентиляционных

систем и воздуховодов была сокращена на 20%. Тепловая мощность, аккумулированная плитой, позволяет сдвинуть пик нагрузок охлаждения на более поздние часы.

При работе в режиме естественного охлаждения подземный туннель поставляет наружный воздух для поддержания температуры в помещении на уровне 22°C и работает на протяжении 47% от времени работы магазина за год. Режим естественного геотермального охлаждения является дополнением к естественной вентиляции, если температура наружного воздуха выше 24°C . В этом режиме работают зоны 1,2 и 3, все тепловые насосы, а зона 4 отключается. Секция №1 выступает в качестве радиатора. Если температура обратки геотермального теплоносителя выше 15°C , циркуляционный насос FC1 работает до тех пор, пока температура не понизится до 12°C . Когда будет достигнута эта температура, запускаются и непрерывно продолжают работу насосы P1,P2,P3. Клапаны А, В, С поддерживают температуру обратки в каждой зоне на уровне 18°C . Во время стандартного теплого летнего месяца (июнь) геотермальный теплоноситель поступает в грунтовой теплообменник с температурой 18°C , а покидает его с температурой $12-15^{\circ}\text{C}$ (рис.4). Эти параметры позволили предоставить системе теплого пола существенную мощность естественного охлаждения с использованием грунта в качестве теплообменника (Minea 2005). Холодный геотермальный теплоноситель поступает в зоны 2 и 3 со средней температурой $12-15^{\circ}\text{C}$ и покидает их с температурой 23°C перед смешиванием с входящим теплоносителем и возвратом в грунтовой теплообменник (рис.5). Геотермальный механический режим охлаждения предусматривает работу тепловых насосов, когда температура наружного воздуха и точка росы внутреннего воздуха выше, чем положено. В этом случае используются клапаны А,В и С для доведения температуры воды обратки до точки росы воздуха внутри помещения (13°C) в целях предотвращения конденсации влаги.

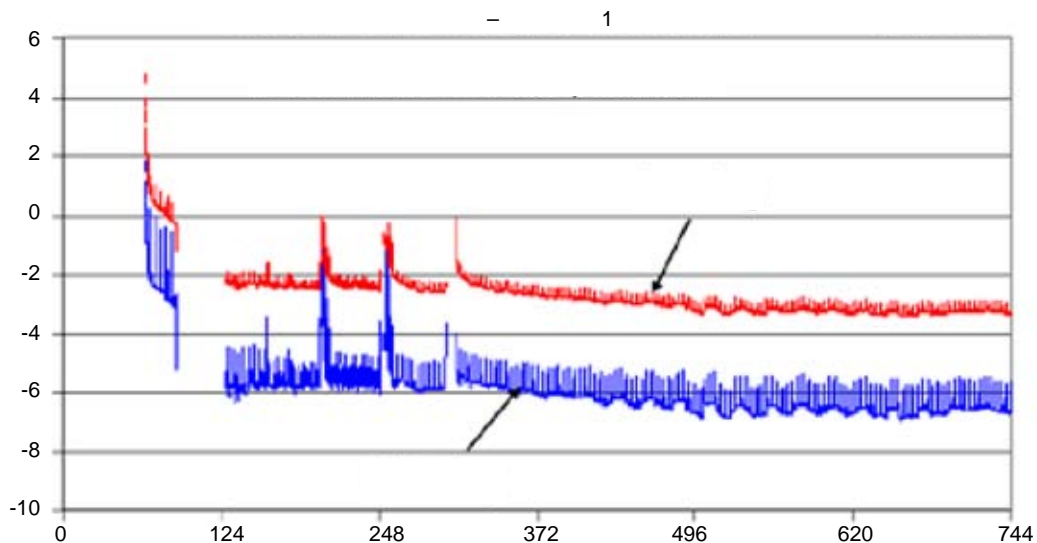


Рисунок 2. Температура геотермальной жидкости на входе и выходе грунтового теплообменника секции №1 (январь)

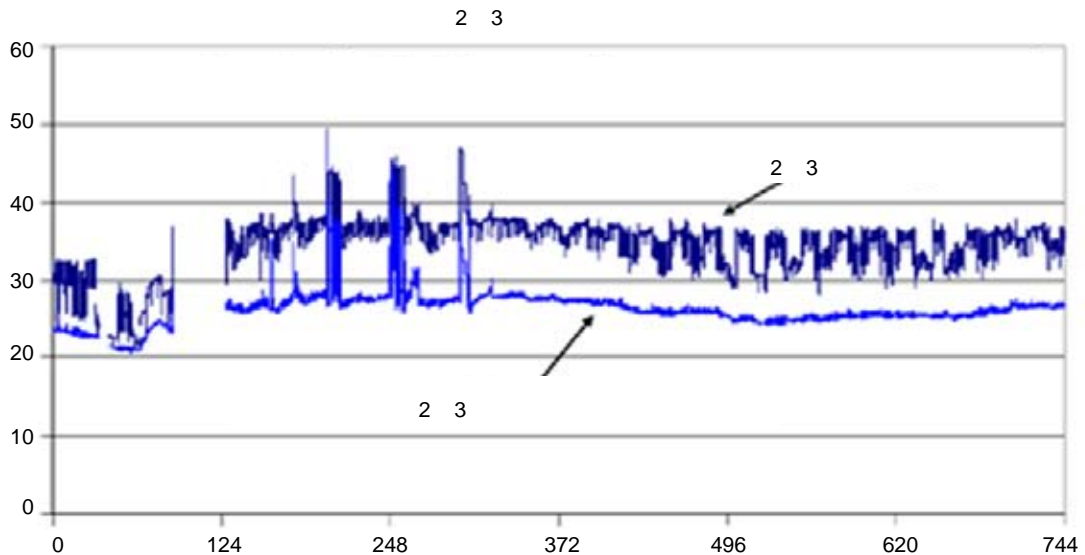


Рисунок 3. Температура геотермальной жидкости на входе и выходе внутренних зон № 2 и 3 здания (январь)

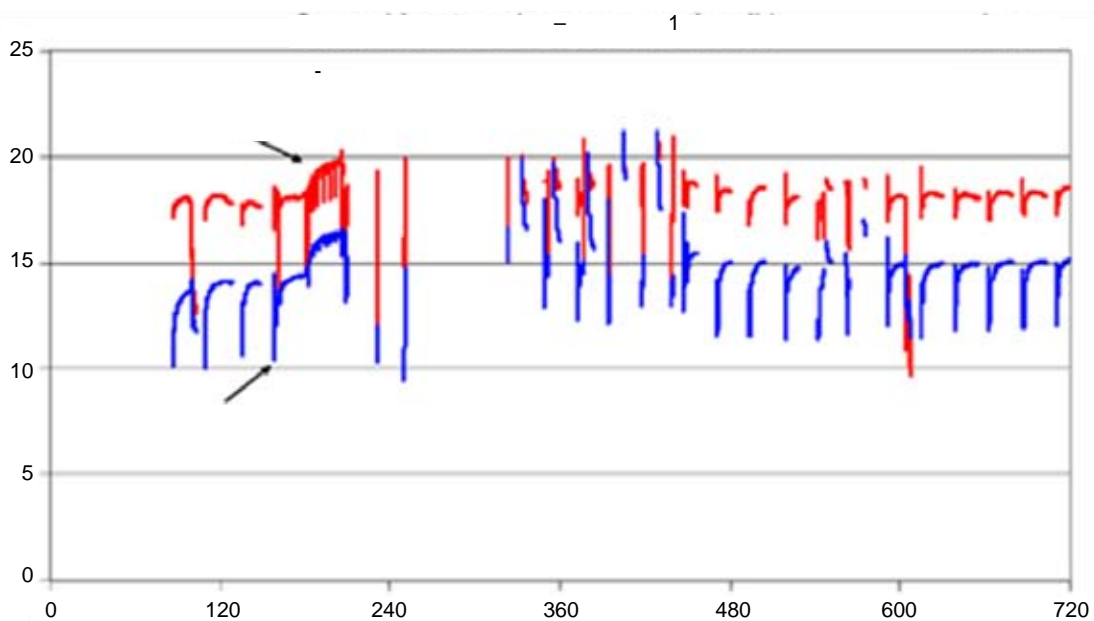


Рисунок 4 - Температура геотермальной жидкости на входе и выходе грунтового теплообменника секции №1 (июнь)

Энергосбережение

Ежегодное потребление тепловой энергии зданием составило 556,4 МВт (или 133,1 кВт/м²/год). На энергосбережение было выделено 100 000 \$ США (2005). Дополнительные расходы на новую HVAC систему составили 475 000\$ США (Genest, Charneux 2005) и соответственно простой период окупаемости составляет 4,75 лет. От общего потребления тепловой энергии зданием, геотермальная система расходует 40 кВт/м²/год, что составляет 30,09%. В течение зимнего периода геотермальная система (все тепловые насосы и соответствующие циркуляционные насосы низкой мощности) потребляют от 35% (март) до 44% (январь) от общего

объема энергии, израсходованной зданием, а летом от 28% (август) до 31% (июль) (рис.6).

Наибольшим потребителем энергии является искусственное освещение (71 кВт/м²/год или 51,31% от годового потребления энергии зданием). Сравнивая геотермальную и искусственную систему освещения, периферическое электрическое отопление (2,77%) и внешний блок подготовки воздуха (4,29%) их объем потребления энергии находится практически на граничном уровне (рис.7). Показатель потребления энергии зданием установлен Канадским стандартом (учитываются электрические бойлеры с чиллерами охлаждения воздуха снаб-

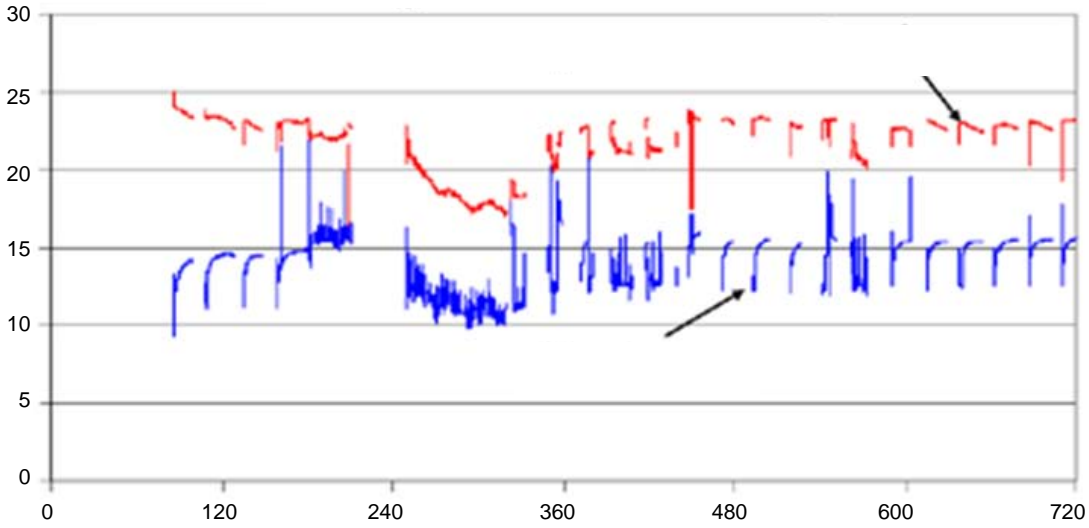


Рисунок 5 - Температура геотермальной жидкости на входе и выходе внутренних зон № 2 и 3 здания (июнь)

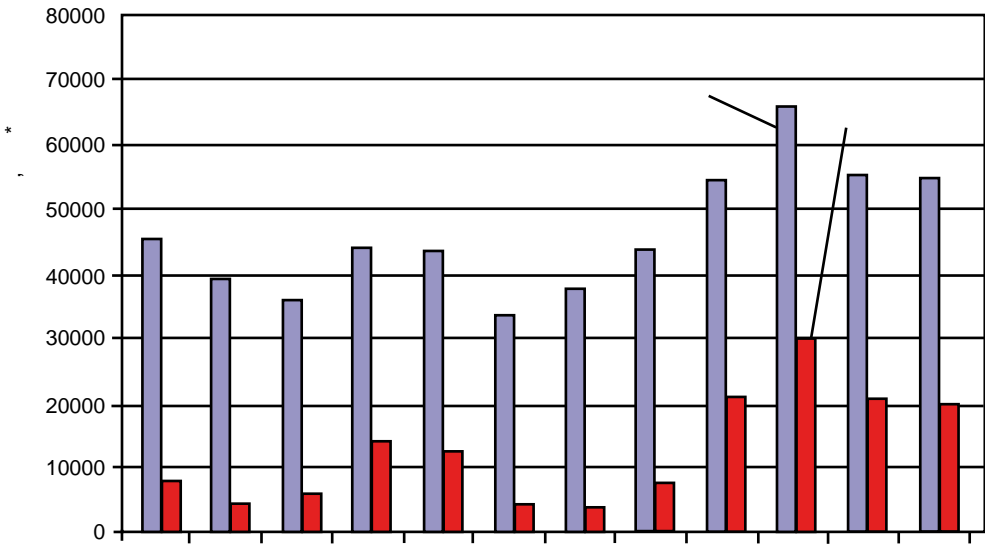


Рисунок 6. Общее количество энергии, потребленной за месяц всем зданием и отдельно грунтовой теплоснабжающей системой

жающие распределительные фанкойлы) и составляет 466 кВт/м²/год. Плотность освещения 26,9 Вт/м², общий УФ-фактор 0,64 Вт/м²К. В новом здании сократилось ежегодное потребление энергии на 71,4% по сравнению с установленным стандартом показателем (таблица 1), что привело к экономии тепловой энергии, эквивалентной 1,4 ГВт/час электрической энергии. По сравнению с тремя другими высокоэффективными зданиями Северной Америки (школа, розничный магазин, офисное здание), величина потребления энергии канадским зданием была этого же порядка (таблица 1). Тем не менее общий эффект от введения энергосберегающих мероприятий на таких же объектах в мире был вдвое больше. Это можно объяснить расположением низкоэнергетического коммерческого здания Монреала в холодной климатической зоне.

Сокращение выбросов CO₂

Косвенный показатель эмиссии системы распределения электрической энергии города Quebec (97% электроэнергия от гидроэлектростанции) составляет 0,00122 кг CO₂ на 1 кВт тепловой энергии. Следовательно, для 1,4 ГВт энергии сокращение эмиссии парниковых газов составляет 1689 кг CO₂ в год. Тем не менее, если сооружение будет расположено, например, в регионе Канады, где 75% электрической энергии производится на теплоэлектростанциях (газ в качестве теплоносителя), сокращение выбросов парниковых газов составит около 371 000 кг CO₂ в год, так как показатель косвенной эмиссии природного газа составляет 0,2 кг CO₂ за 1 кВт энергии.

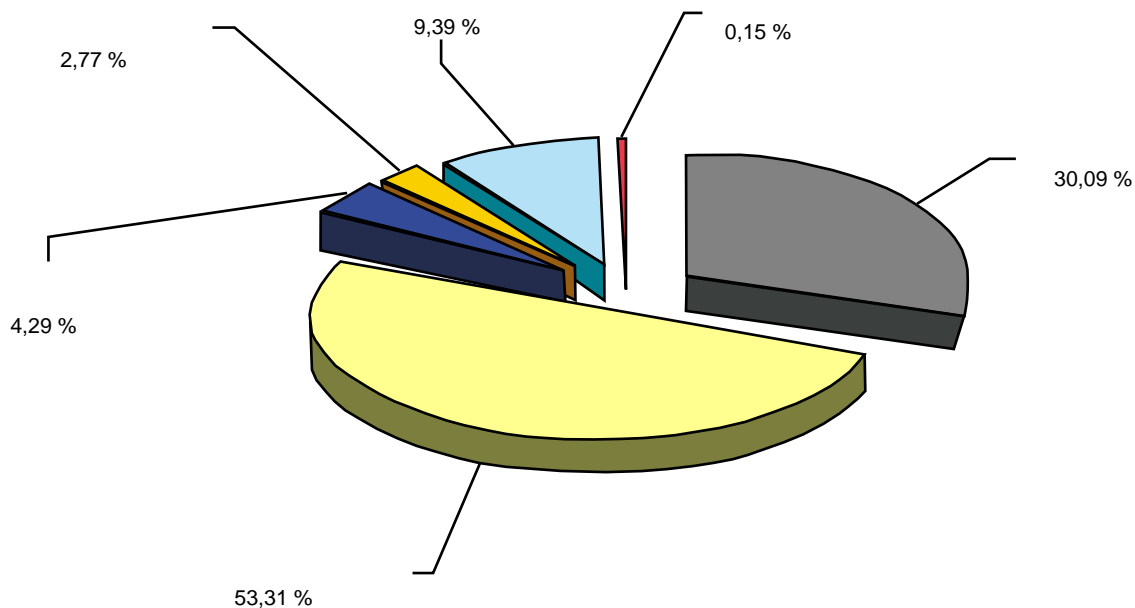


Рисунок 7. Доля потребления электрической энергии зданием за год

Таблица 1.

Низкоэнергетическое здание (источник)	Основные характеристики	Потребление энергии за год		Доля ежегодной экономии энергии
		существующие здания	нормативные здания	%
		кВт/м ² /год	кВт/м ² /год	
Высшая школа McGivney, Онтарио, Канада (ASHRAE,1998)	Площадь здания - 17 657 м ² . Мощность геотермальной системы - 1435 кВт (20 тепловых насосов). 360 скважин (62,6 м глубиной каждая). Блок рекуперации отработанного воздуха, мощностью 517 кВт, с тепловыми трубками.	139	352	42
Центр BigHorn, Колорадо, США (Torcellini et all)	Центр по ремонту аппаратуры и склад площадью 3940 м ² . Панели фотовольтаики и пассивные солнечные панели. Система теплого пола и обогреватели на природном газе.	124,3	296	42
Офисное здание Cambria, Пенсильвания, США (Torcellini et all)	Площадь - 3205 м ² . Геотермальная теплонасосная система, вентиляторы с функцией рекуперации тепла. Фотовольтаичная система, мощностью 18 кВт. Энергоэффективные окна.	115,8	322	36
Новое коммерческое здание, Монреаль, Канада (Genest, Minea,2006)	Площадь - 4180 м ² . Геотермальная теплонасосная система мощностью 280 кВт. 12 вертикальных скважин (175 м глубиной каждая). Гибридная система вентиляции. Механизм управления тепловым потоком отработанного воздуха. Система теплый пол. Солнечные панели для предварительного подогрева воды для горячего водоснабжения	133,1	466	71,4

Выводы

В Канаде система отопления и вентиляции нового коммерческого здания с низким потреблением энергии включает грунтовые тепловые насосы и теплый пол, которые обеспечивают его отопление и охлаждение. Другие инновационные находки, такие как гибридная система вентиляции, использование отработанного воздуха, рекуперация геотермального тепла приводят в высокой энергетической эффективности здания, расположенного в холодных климатических условиях. Ежегодное потребление электрической энергии зданием (133,1 кВт/м²/год) является величиной такого же порядка, как и потребление энергии одним из трех наиболее эффективных зданий Северной Америки. Грунтовая теплонасосная система и искусственное освещение расходуют соответственно 30,09% и 53,3% от ежегодно потребляемой энергии. В течение наиболее холодного зимнего месяца (январь), геотермальная система работала в качестве основной системы отопления здания. Доля потребления энергии геотермальной системой от общего объема использован-

ной энергии составила 44%. Ежегодная экономия электрической энергии сокращает выбросы парниковых газов на 1,7 метрических тон CO₂ за год.

REFERENCES

1. ASHRAE Insights 2005, Energy Savings Design Wins Prestigious Award.
2. Genest, F.; Charneux, R. 2005, Creating Synergies for Sustainable Design, ASHRAE Journal, March.
3. Minea, V. 2005, Retail Store Geothermal Heating and Cooling with Radiant Floor, Hydro- Quebec Technical Report, November
4. Genest, F ; Minea, V. 2006, High-performance retail store with integrated HVAC systems, ASHRAE Transactions, Vol. 112, Part 2, pp. 582 – 596.
5. ASHRAE 1998, Operating Experiences with Commercial Ground- Source Heat Pumps Systems.
6. Torcellini, P. A. et al. 2004, High-Performance Buildings, Buildings for the Future, A Supplement to ASHRAE Journal, September.

Интегрированные теплонасосные системы на хладагенте CO₂ в низкоэнергетических и пассивных домах

Статья взята из IEA Heat Pump Centre Newsletter Volume 26 - No. 2/2008

« »

Jorn Stene

Введение

Низкоэнергетические и пассивные дома - это хорошо изолированные герметичные здания, которые нуждаются в значительно меньшем количестве энергии на отопление помещений по сравнению со зданиями, построенными согласно существующим строительным нормам. Доля ежегодно потребляемой тепловой энергии, необходимой для горячего водоснабжения, обычно составляет 50-80% от общего объема потребляемой энергии всем зданием.

Теплонасосную систему можно использовать для полного покрытия спроса на отопление в низкоэнергетических и пассивных домах. Она может быть спроектирована как автономная система, то есть содержать нагреватель воды теплового насоса в комбинации с блоком сепарации для отопления помещений или может быть интегрированной системой, как отопления помещения, так и для горячего водоснабжения. Последняя указанная система предпочтительнее из-за меньших капитальных вложений и расходов на установку, что делает ее более рентабельной.

Интегрированная теплонасосная система на углекислом газе в качестве рабочего тела, установленная в низкоэнергетических и пассивных зданиях, достигает особенно высоких показателей фактора сезонной производительности (SPF) благодаря уникальным характеристикам теплового насоса на хладагенте CO₂. Тем не менее, энергетическая

эффективность в значительной степени зависит от правильности проектирования и режимов работы теплового насоса и вторичных систем.

Требования к отоплению низкоэнергетических и пассивных зданий

Низкоэнергетическим и пассивным домам по сравнению со зданиями, построенными по существующим строительным нормам, требуется значительно меньше тепловой энергии на отопление помещений, кроме того, вентиляционные потери значительно ниже. Это можно объяснить улучшенной изоляцией и герметичностью оболочек здания, правильно сбалансированной вентиляционной системой, высокоэффективным рекуператорам и применением пассивной солнечной энергии.

На рис.1 показана динамика спроса на тепловую энергию для отопления и горячего водоснабжения здания [кВт/месяц] за месяц (Dokka and Hermstad, 2006). К оболочкам зданий, построенных по Норвежскому строительному кодексу 1997 года (BF97), низкоэнергетическим домам (класс энергетической эффективности В), пассивным домам (класс энергетической эффективности А), пассивным домам + (класс энергетической эффективности А+) предъявляются свои индивидуальные требования. Усредненный спрос на тепловую энергию за месяц на нужды горячего водоснабжения составляет 335 кВт/месяц (4000 кВт/год), что является типичной величиной для зданий Норвегии. Например, годовая потребность в тепловой энергии для горячего водоснабжения составляет 75% от общего объема тепловой энергии.

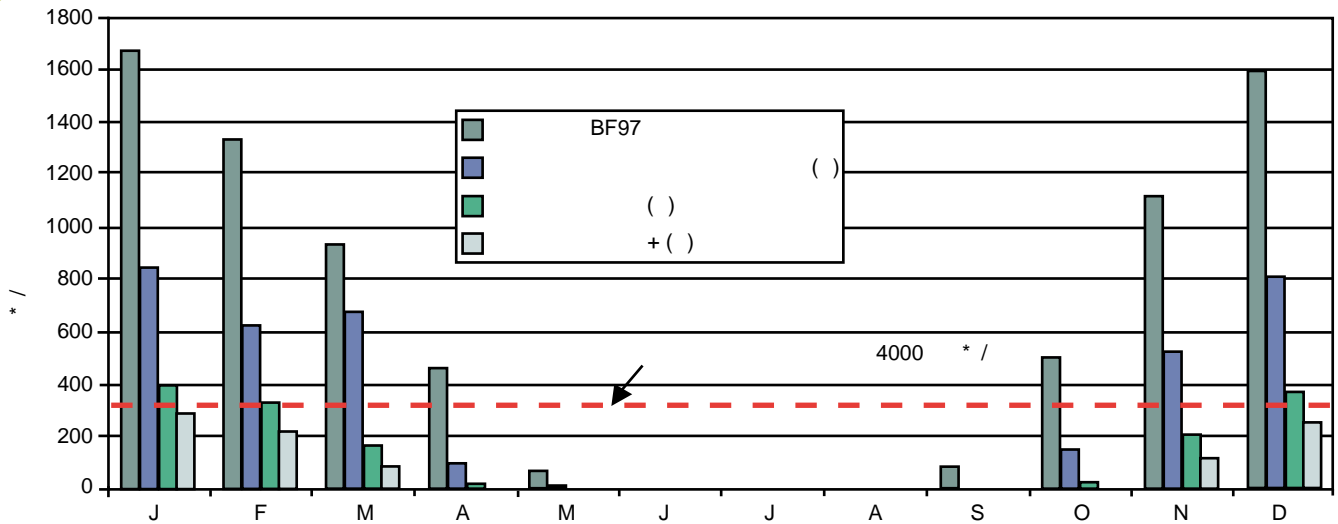


Рисунок 1. Расчетная потребность в тепловой энергии на отопление и ГВС для двухквартирного дома в Осло Норвегия площадью 105м² за месяц (Dokka and Hermstad, 2006)

Анализ интегрированных CO₂ теплонасосных систем для жилых помещений

Существует большое количество интегрированных CO₂ систем на хладагентах R407C, R410A, R134a или R290 (пропан). Основными различиями являются особенности конструкции и рабочие характеристики DHW систем. Наиболее часто встречаются системы «резервуар с двойной оболочкой» для подготовки горячей воды, пароохладительные системы, трансфер-клапанные системы, работающие в режиме отопления и производства горячей воды и двухступенчатые системы, в которых горячая вода подогревается в буферной емкости системы отопления помещений и догревается до конечной температуры с помощью пароохладителей. Такие системы достигают высокого фактора сезонной производительности (SPF).

Основные характеристики теплонасосных систем на хладагенте CO₂

Двуокись углерода (CO₂, R744) является нетоксичной, невозгораемой рабочей жидкостью, которая не оказывает негативного воздействия на озоновый слой и не способствует глобальному потеплению, тем самым представляет собой весомую альтернативу используемым в настоящее время рабочим жидкостям. CO₂ обладает прекрасными термо-физическими свойствами, которые можно использовать для оптимизации компонентов систем и конструкции тепловых насосов, систем подготовки горячей воды, распределительной системы, с целью достижения высокой энергетической эффективности.

CO₂ обладает особенно низкой критической температурой (31,1°C) и высоким критическим давлением (73,8 бар). Как следствие, рабочее давление теплонасосной системы на CO₂ обычно в 5-10 раз выше стандартного значения, то есть 20-40 бар в испарителе и 80-130 бар в газоохладителе. Из-за низкой критической температуры большинство тепловых насосов на CO₂ работают в так называемом транскритическом цикле с испарением при докритических температурах и отводе тепла при сверхкритических давлениях (> 73,8 бар).

В отличие от докритического цикла теплового насоса, тепло выделяется не при конденсации рабочей жидкости, а за счет охлаждения газа CO₂ при высоком давлении в теплообменнике (газовый охладитель). Температура газа CO₂ уменьшается во время отвода тепла и называется температурой скольжения. На рис. 2 показана диаграмма температура/энтальпия транскритического цикла теплового насоса на CO₂.

Основными факторами, определяющими коэффициент производительности COP одноступенчатого теплового насоса CO₂, являются температура испарителя, общая изэнтропическая эффективность компрессора, оптимальное давление охлажденного газа, температура отходящего газа CO₂ из газоохладителя, возможность рекуперации энергии расширения с помощью эжектора или расширителя.

Так как температура газового разряда от компрессора в цикле теплового насоса на CO₂ относительно высокая (>80°C), это может удовлетворить спрос на высокую температуру существующих отопительных систем. Тем не менее, для достижения высокого показателя COP для теплонасосной системы на CO₂, важно, чтобы полезная тепловая энергия находилась в определенном диапазоне температур, что приводит к увеличенной разнице энтальпии CO₂ в газоохладителе (h₂-h₃) и относительно низкой температуре CO₂ (t₃) перед расширительным/дроссельным клапаном. Это в свою очередь предполагает относительно низкую температуру воды на входе в газоохладитель, то есть низкую температуру воды обратки в распределительной системе и/или пониженную температуру воды на входе в резервуар подготовки горячей воды.

Потребляемая мощность компрессора более или менее пропорциональна давлению охлажденного газа, то есть чем выше давление охлажденного газа, тем ниже показатели коэффициента производительности COP. Следовательно, тепловые насосы должны быть рассчитаны на умеренное давление холодного газа.

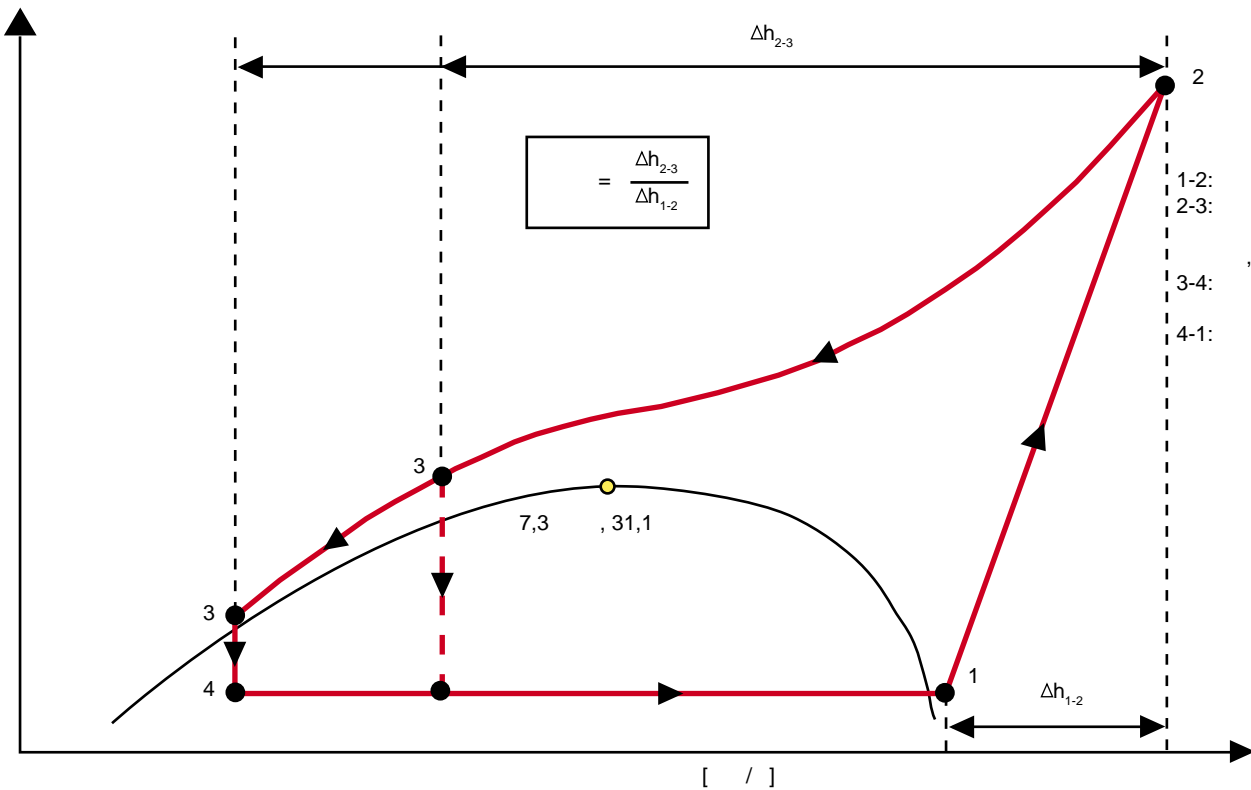


Рисунок 2. Транскритический цикл теплового насоса на CO_2 .
Зависимость - температура/энтальпия

Тестирование и оценка прототипа теплонасосной системы на CO_2

Был испытан и проанализирован прототип теплового насоса типа «рассол/вода» мощностью 6,5 кВт для отопления и горячего водоснабжения здания (Stene, 2004/2006). Была проведена оценка большого количества газоохладителей различных конфигураций. Было установлено, что внешний трехсторонний противоток газа для подготовки горячей воды, низкотемпературного отопления помещений и системы догрева горячей воды, позволяет производить воду в необходимом температурном диапазоне, что способствует достижению максимально возможного показателя COP теплового насоса. Рис.3 показывает принцип работы интегрированной теплонасосной системы на CO_2 .

Прототип теплонасосной системы на CO_2 был оборудован герметично подвижным поршневым компрессором, трехсторонним противоточным газоохладителем с конструктивным исполнением «труба в трубе», трехсторонним противоточным всасывающим теплообменником «труба в трубе» и испарителем «труба в трубе». Расширительный клапан (обратный клапан) и ресивер для жидкости низкого давления использовались для контроля давления CO_2 в трехстороннем газоохладителе, тем самым максимизировав коэффициент производительности системы. Газоохладители А и С были соединены с резервуаром аккумуляции горячей воды с одной оболочкой и с инверторным насосом, регулируемым с помощью закрытого водяного контура. Газоохладитель В был соединен с низкотемпературной гидравлической системой распределения тепла.

Интегрированная теплонасосная система на CO_2 была протестирована в:

- режиме подготовки горячей воды;
- режиме отопления помещения;
- комбинированном режиме – одновременное отопление помещения и горячее водоснабжение.

Во время водоразбора ГВС холодная водопроводная вода подается в нижний резервуар. Во время загрузки резервуара в режиме горячего водоснабжения или комбинированном режиме, холодная водопроводная вода от нижней части резервуара перекачивается через газоохладители А и С, нагреваясь до заданной температуры и подается обратно в верхнюю часть бака. Теплонасосная система на CO_2 была протестирована при температурах подачи/обратки системы отопления 40°C /35°C, 35°C /30°C, 33°C/28°C и 60,70,80°C для системы горячего водоснабжения.

Процесс отвода тепла для трех различных режимов работы показан на рис. 4. Например, температура подачи/обратки системы отопления полов 35-30°C, в то время как температура водопроводной воды и заданные значения системы ГВС составляют соответственно 6,5 и 70°C. При работе в комбинированном режиме, мощность системы ГВС составляет 45%, это означает, что 45% от общей мощности трехстороннего газоохладителя уходит на горячее водоснабжение.

Показатели коэффициента COP при работе в комбинированном режиме были на 2-10% выше, чем при работе в режиме ГВС, благодаря оптимальному давлению в газоохладителе (85-95 бар) и от-

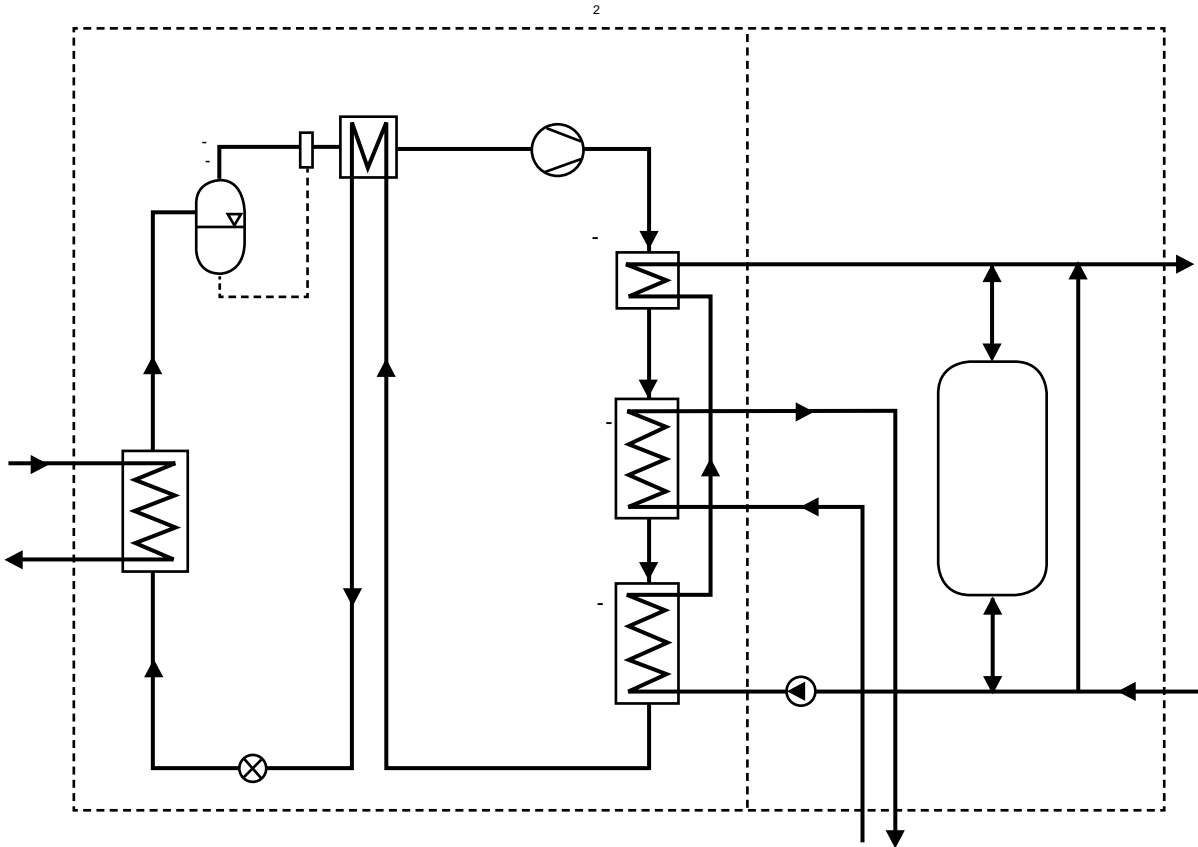


Рисунок 3. Особенности конструкции прототипа интегрированной теплонасосной системы на хладагенте CO_2 типа «рассол/вода»

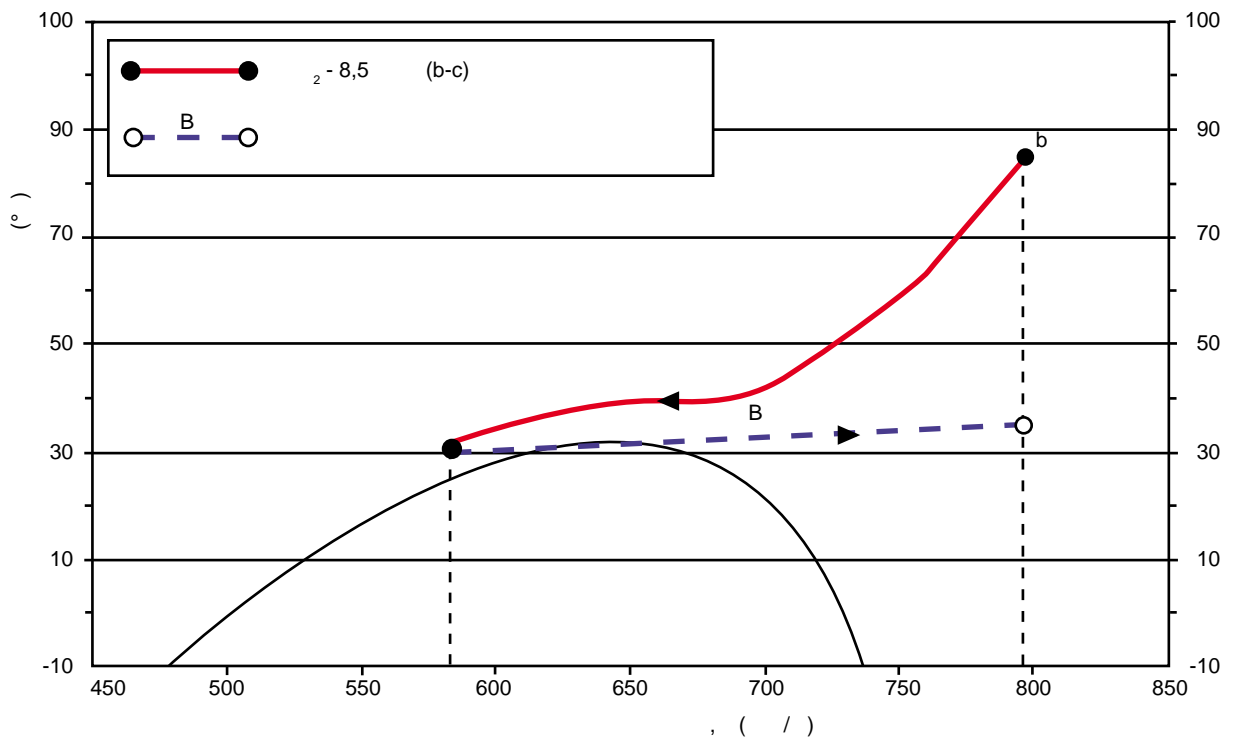


Рисунок 4. Процесс рекуперации тепла интегрированным тепловым насосом на CO_2 в режиме охлаждения помещения ($35/30^\circ\text{C}$) и комбинированном режиме ($35/30^\circ\text{C}$, 70°C). Оптимальное давление охлажденного газа 85 и 100 бар

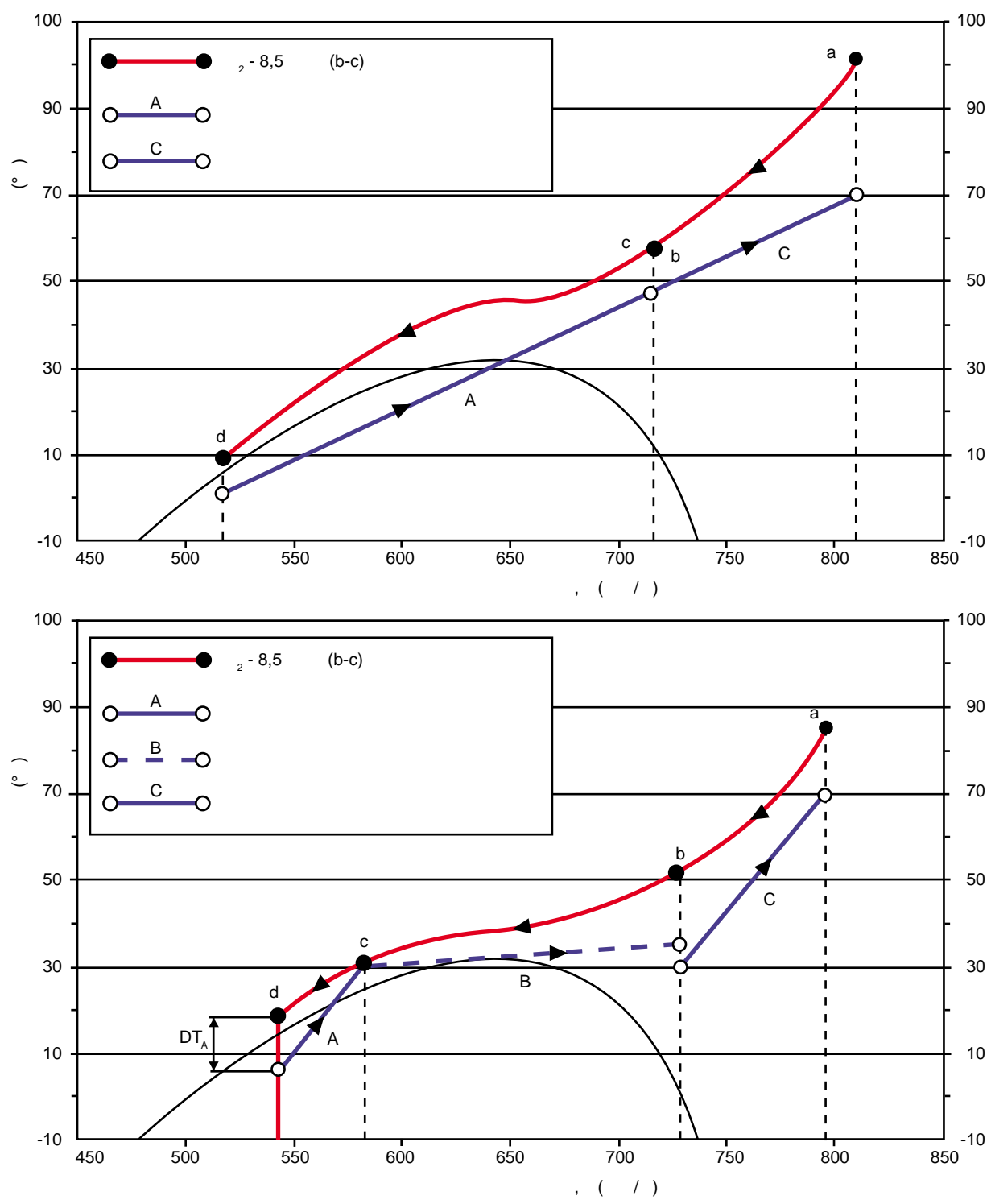


Рисунок 4. Процесс рекуперации тепла интегрированным тепловым насосом на CO₂ в режиме охлаждения помещения (35/30°C) и комбинированном режиме (35/30°C, 70°C). Оптимальное давление охлажденного газа 85 и 100 бар

носителю низкой отходящей температуры CO₂ от трехстороннего газоохладителя. Показатели коэффициента производительности COP при работе в режиме отопления были на 20-30% ниже, чем при комбинированном режиме. Причиной этого было низкое соответствие температур CO₂ и воды, а также температура CO₂ на выходе из газоохладителя была ограничена относительно высокой температурой обратки системы отопления. Чем ниже температура обратки, тем выше коэффициент COP тепловых насосов на CO₂.

Сравнение сезонной энергетической эффективности

Были просчитаны фактор сезонной производительности (SPF) для прототипа теплового насоса на CO₂ и энергетическая эффективность теплового насоса «рассол/вода» на хладагенте HFC, предполагая, что температура рассола на входе в испаритель постоянна (0°C), температурные уровни низкотемпературной системы отопления находятся в диапазоне от 35 до 30°C, а системы ГВС - 10/60°C. Так же была исследована улучшенная система CO₂ с коэффициентом производительности на 10% выше, чем у прототипа, с целью демонстрации будущего

потенциала CO₂ систем. COP может быть улучшен путем использования более энергоэффективного компрессора, оптимизации трехстороннего газоохладителя и замене дросселя на эжектор. В будущем возможно увеличить COP на 10-20% (Stene, 2004). Для теплонасосных систем на CO₂ термодинамические потери в резервуаре ГВС вследствие смешивания и внутреннего кондуктивного теплообмена не включены в расчеты SPF. В таблице 1 приведен измеренный коэффициент COP теплонасосной системы при упомянутых рабочих условиях.

Таблица 1.
Измеренный коэффициент COP теплонасосной системы типа «рассол/вода» – граничные условия

прототип CO ₂ теплового насоса	COP = 3.0 – режим отопление помещения при температурах 35/30°C COP = 3.8 – режим ГВС при температурах 10/60°C без резервного нагревателя COP = 3.9 – комбинированный режим при температурах 35/30°C и 10/60°C
усовершенствованный CO ₂ тепловой насос	COP = 3.3 – режим отопление помещения при температурах 35/30°C COP = 4.2 – режим ГВС при температурах 10/60°C без резервного нагревателя COP = 4.3 – комбинированный режим при температурах 35/30°C и 10/60°C
современный тепловой насос	COP = 4.8 – режим отопление помещения при температурах 35/30°C COP = 3.0 – режим ГВС при температурах 10/60°C без резервного нагревателя

В таблице 1 показано, что интегрированная теплонасосная система на CO₂ и современный тепловой насос на HFC опровергли характеристики COP, то есть система на CO₂ достигает наивысшего ко-

эффициента COP во время работы в режиме ГВС и комбинированном режиме, в то время как современные единицы достигли наивысших показателей COP при режиме отопления.

На рис.5 приведен расчетный фактор SPF для трех жилых теплонасосных систем во время моновалентной работы - функция от сезонного спроса на тепловую энергию для горячего водоснабжения.

При низких показателях спроса на тепловую энергию для ГВС современный тепловой насос более энергетически эффективен, чем система на CO₂, благодаря низкому COP во время работы в режиме отопления. При повышении спроса на тепловую энергию для ГВС, показатели SPF системы на CO₂ значительно улучшаются, так как большая часть спроса на тепловую энергию покрыта при работе в комбинированном режиме и режиме ГВС. С другой стороны, SPF современного теплового насоса уменьшается в соответствии с увеличением спроса на энергию для ГВС, поскольку COP во время работы в режиме ГВС на 35% ниже, чем при работе в режиме отопления.

При текущих рабочих условиях безубыточность теплового насоса достигается при 60% спросе на тепловую энергию для ГВС, у то время как уровень безубыточности для улучшенной CO₂ системы на 10% ниже.

При 70% спросе на тепловую энергию для ГВС фактор SPF улучшенного теплового насоса на CO₂ был около 3,9. Это соответствует годовой экономии энергии на 70-75% по сравнению с прямой электрической системой отопления и на 20-35% выше, чем у скандинавской системы ГВС, основанной на солнечных коллекторах и экранированных резисторах для дополнительного отопления.

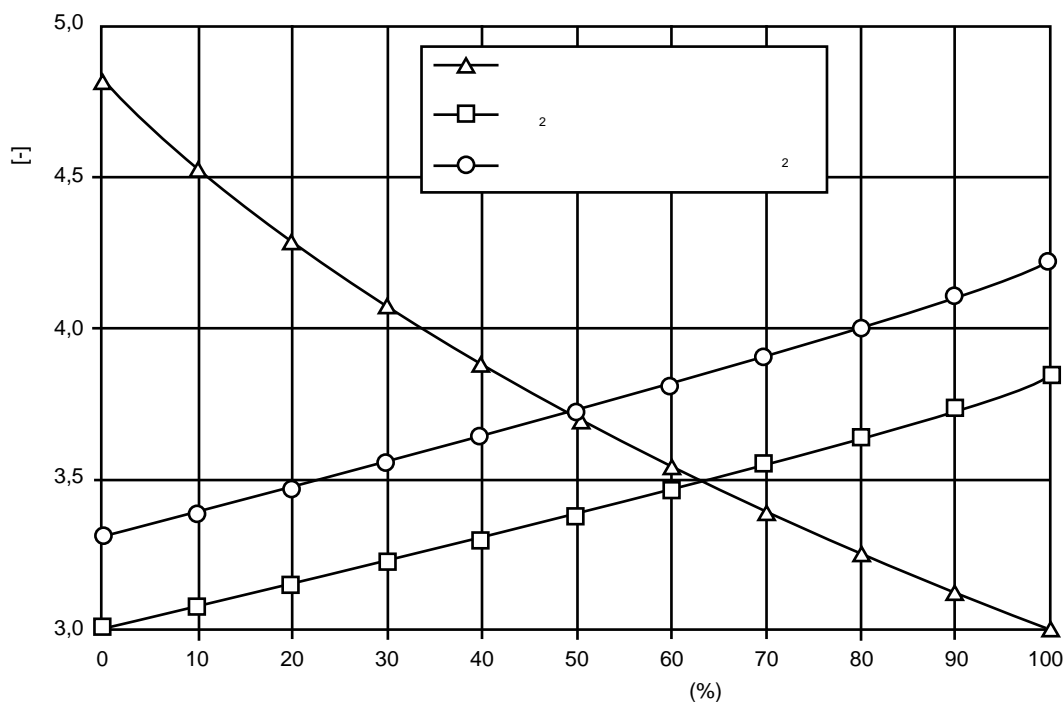


Рисунок 5. Расчетный коэффициент фактора сезонной производительности во время моновалентной работы высокоэффективного современного теплового насоса, прототипа теплового насоса на CO₂ и усовершенствованного CO₂ теплового насоса

В существующих домах, где спрос на тепловую энергию ГВС обычно составляет 10-30%, современные высокоэффективные тепловые насосы будут более энергетически эффективными, чем интегрированные одноступенчатые теплонасосные системы на CO₂. Тем не менее, низкоэнергетические и пассивные дома, где потребность в тепловой энергии на ГВС составляет 50-85%, интегрированные теплонасосные системы на CO₂ с трехсторонним газоохладителем будут более энергетически эффективными, чем современные теплонасосные системы, предложенные на рынке.

Пример применения тепловых насосов на CO₂ в пассивных домах

Теплонасосные системы на CO₂ с трехсторонним газовым охладителем для отопления низкоэнергетических и пассивных домов могут быть спроектированы для утилизации нескольких тепловых ресурсов. В Германии 40-50% всех пассивных домов оснащены интегрированной теплонасосной системой для отопления и ГВС (Buhring, 2005). Наиболее часто используемым стандартным тепловым источником является воздух систем вентиляции, зачастую скомбинированный с наружным воздухом, который догревается в грунтовых теплообменниках. На рис. 6 показаны схематические диаграммы теплонасосной системы в жилом помещении пассивного дома с использованием вентиляционного наружного воздуха в качестве теплового источника (Viessmann, 2008). Это является прекрасной возможностью применения интегрированной теплонасосной системы на CO₂.

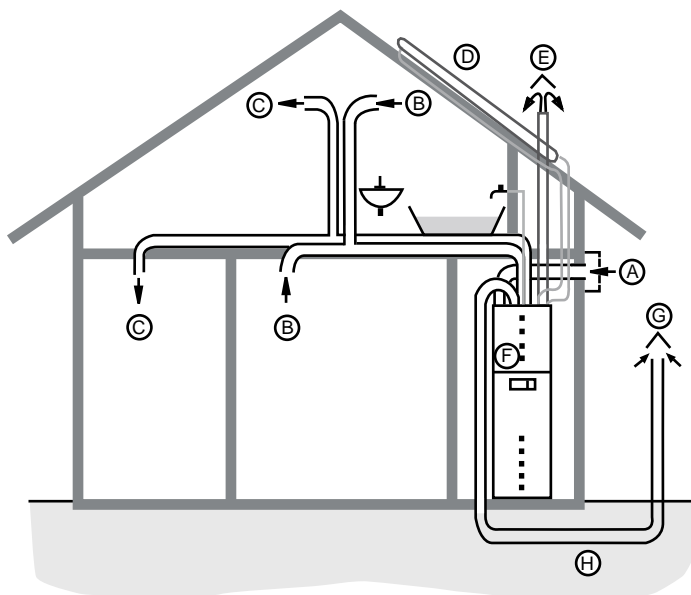
Грунт (почва) также является источником тепла, представляющим интерес для тепловых насосов на CO₂ с целью их применения в низкоэнергетических и пассивных домах. В этих системах, испарительные трубки (прямая испарительная система) или полиэтиленовые трубки, внешним диаметром 40-30 мм с циркулирующей незамерзающей жидкостью (косвенная система) устанавливаются горизонтально в грунте на глубину 0,8-1,5 метров. Из-за относительно низкой мощности отопления теплового насоса в пассивном доме (23-3 кВт) необходимо небольшое пространство для установки грунтового теплообменника.

Заключение

Интегрированная теплонасосная система на CO₂ оснащенная трехсторонним газоохладителем представляет собой перспективную, высокоэффективную систему для отопления и горячего водоснабжения низкоэнергетических и пассивных домов. Основная часть от общего ежегодного спроса на тепловую энергию для таких зданий приходится на работу в режиме ГВС, где тепловой насос на CO₂ будет превосходить теплонасосные системы, используемые обычные рабочие жидкости. В низкоэнергетических и пассивных домах, наиболее интересным тепловым источником является грунт (прямая расширительная система), вентиляционный воздух или комбинированный вентиляционный и наружный воздух.

Источник

1. Buhring, A., 2005: Buhring, A., 2005: Development and Measurement of Compact Heating and Ventilation Devices with Integrated Exhaust Air Heat Pump for High-Performance Houses. Proceedings from 8. IEA Heat Pump Conference, Las Vegas, USA, May 30 – June 2, 2005.
2. Dokka, T.H., Hermstad, K., 2006: Energieeffektive boliger for framtiden – en handbok for planlegging av passivhus og lavenergihus (Energy Efficient Houses for the Future – A Handbook for Planning of Passive Houses and Low-Energy Houses). Norwegian final report from ECBCS Annex 38, Sustainable Solar Housing. SINTEF Building and Infrastructure.
3. Stene, J., 2004: Residential CO₂ Heat Pump System for Combined Space Heating and Hot Water Heating. Doctoral Thesis at the Norwegian University of Technology and Science, Dept. of Energy and Process Engineering, 2004:53. ISBN 82-471-6316-0.
4. Stene, J., 2006: Residential CO₂ Heat Pumps for Combined Space Heating and Hot Water Heating – System Design, Test Procedures and Calculation of SPF. Report no. TR A6102. SINTEF Energy Research, Norway.
5. Viessmann, 2008: Compact Energy Tower fur das Passivhaus – Vitotres 343. Information from Viessmann Werke GmbH&Co KG, Germany



- А) Поступление свежего воздуха в дом;
 В) Отработанный воздух из помещений;
 С) Поступление свежего воздуха в комнаты через сбалансированную систему вентиляции;
 D) Солнечный коллектор (опционально) для получения тепловой энергии на нужды горячего водоснабжения;
 E) Воздуховыпускное отверстие;
 F) Тепловой насос, по возможности на CO₂ и резервуаром для хранения горячей воды;
 G) Внешний воздух, предварительно подогретый грунтовым теплообменником, поступающий в испаритель теплового насоса;
 H) Грунтовой теплообменник.

Рисунок 6. Пример установки теплового насоса в пассивном доме (Viessmann, 2008)

Подземные системы становятся более популярными в Нидерландах

Статья взята из IEA Heat Pump Centre Newsletter Volume 28 - No. 1/2010

« »

Wilko Planje

Начиная с конца 90-х годов в Нидерландах, увеличилось использование геотермальных систем для охлаждения офисных зданий. Принцип работы таких систем основан на использовании энергии, сохраненной в водоносных слоях почвы (ATES - aquifer thermal energy storage). В настоящее время в Нидерландах установлены более чем 1200 АТЕС систем общей тепловой мощностью более 900 МВт, в 60% из которых используется тепловой насос. Целью голландского правительства является продолжение стимуляции такого метода отопления и охлаждения. Развитие новых нормативных положений будет способствовать максимальному использованию подземных энергетических систем. Помимо простоты обслуживания замкнутых систем, существенными приоритетами также являются их надежность, упрощенная процедура получения лицензии и прохождения контроля.

Введение

В настоящее время общая потенциальная площадь помещений коммунального сектора Нидерландов насчитывает 180 млн м²; ежегодная потребность в электроэнергии составляет 13 ПДж и в газе 3 ПДж [1]. Более чем 150 ПДж тепловой энергии получается путем сжигания газа. Если посмотреть на весь сектор в целом, спрос на энергию охлаждения относительно мал. Около 81% больниц, 58% офисных помещений, 33% детских садов и 22% школ оборудованы охлаждающим оборудованием.

Из-за возросшего спроса на энергию охлаждения увеличился объем использования систем АТЕС в строительном секторе. В системах охлаждения зданий, где ранее использовались чиллеры, потребляющие большое количество энергии, уместно применять системы АТЕС с температурой теплоносителя ниже 12°C, которые являются идеальным решением для низкоэнергетического охлаждения. Использование этой технологии приводит к сокращению затрат на охлаждение в 4 - 12 раз. Срок окупаемости 4-7 лет подтвердил целесообразность их применения.

В 90-х годах появились первые системы, использующие энергию водоносного горизонта. В 1992 году была создана Dutch Association of Underground Energy Storage (Голландская Ассоциация подземного хранения энергии) [2]. Ассоциация представляет интересы застройщиков, разрабатывает нормативные документы и рекомендации по обеспечению качества, а также проводит курсы и конференции.

Еще одним важным фактором успеха систем АТЕС в коммунальном хозяйстве Нидерландов является их использование в мягких слоях почвы, которые чередуются с водянистыми слоями песка и водонепроницаемой глиной, что существенно облегчает бурение. Это позволяет через водопроницаемые слои песка (10°C -12°C) толщиной 10-80 метров получить доступ к глубине 50-500 метров. Системе АТЕС бывает одинарного и двойного цикла. Тепловой радиус вокруг источников варьируется от 20 до 100 метров в зависимости от максимальной скорости потока, толщины водоносного горизонта, потока подземных вод и спроса на отопление и охлаждение.

Изменение температуры на 1К может привести к увеличению затрат на энергию до 2-3%, а в системе охлаждения - до 5-7%. Ранее существовало мнение, что подземные системы могут негативно влиять на смежные системы, но недавно проведенные исследования опровергли это утверждение.

Главная палата голландского парламента 17 марта 2010 года приняла Закон о восстановлении, который наделяет полномочиями оптимизации подземных источников для хранения энергии центральные и местные органы власти. Этот акт ускорит проекты нового строительства, например, отменит экологическое законодательство и упростит процедуру экспроприации, что существенно уменьшит безработицу в строительном секторе. Он также простимулирует применения систем АТЕС при строительстве крупных объектов. Необходимо внедрить 18000 АТЕС систем к 2020 году. Это требует новых нормативных положений и законодательства для оптимального подземного планирования.

Тепловые насосы и системы АТЕС

Согласно данным Голландского центрального бюро статистики в 2009 году 60% систем АТЕС было оборудовано тепловыми насосами. В основном они были установлены в офисных помещениях, в домах престарелых, школах и больницах. Относительная потребность в мощности отопления и охлаждения практически одинакова. Например, относительная мощность охлаждения нового офисного здания составляет 40-60 Вт/м², а отопления 20-40 Вт/м². В этом случае годовой баланс тепловой энергии, извлеченной из подземных источников, можно уравнивать без особых дополнительных нагрузок через сухие градирни и градирные вышки.

Благодаря использованию тепловых насосов в системах АТЕС сокращается потребление первичной энергии (включая энергию на освещение и вентиляцию и т.д.) на 15-24% [4]. Этот показатель взят из расчетов голландского стандарта NEN2916 [5]. Стандарт NEN2916 требует выражать общий спрос на первичную энергию через показатель КПД энергии (ЕРС). В стандарте описана методика расчета

нагрузки отопления и охлаждения, вентиляции/циркуляции воздуха, увлажнение/осушение, освещение, сочетание обогревателей, фотовольтаики, и т.д. Строительные стандарты для коммунального сектора учитывают полезную площадь здания и условия окружающей среды. Показатель КПД, не учитывающий площадь здания является безразмерной величиной. Грубо говоря, это дает возможность сравнивать здания с точки зрения их энергетической эффективности. Если показатель EPC здания уменьшился с 2 до 1 единицы, это значит, что чистое потребление энергии приблизительно уменьшилось вдвое. Чем ниже значение EPC, тем выше энергетическая эффективность здания.

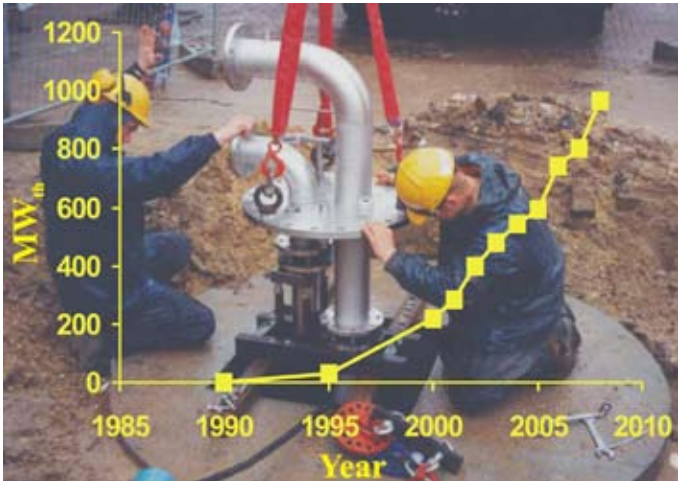


Рисунок 1. Установка АТЭС системы (МВт тепловой энергии) в Нидерландах. Обзор установленных АТЭС систем в Нидерландах:

- более 69% установлены в офисных зданиях;
- 9% в жилых домах;
- 11% в сельском хозяйстве;
- 9% в теплицах;
- 2% в промышленности.

В голландском строительном кодексе для каждого сектора установлены свои стандарты показателя EPC. На протяжении многих лет правительство ужесточало требования к этим показателям. В 2009 году показатель EPC для школ составил 1,3 единицы, для магазинов и больниц - 2,6, для новых офисных помещений - 1,1. До 2009 года коэффициент EPC составлял 1,5 единиц. Грунтовые тепловые насосы в офисных зданиях могут произвести достаточное количество первичной тепловой энергии для удовлетворения требований этого стандарта. Для этого необходимо улучшить изоляцию здания.

Стоимость системы АТЭС составляет 500-1000 евро/кВт тепловой энергии. Дополнительные инвестиции в теплонасосную систему составляют около 350-400 евро/кВт тепловой энергии, в результате чего общая стоимость составляет 850-1400 евро/кВт тепловой энергии совместно для АТЭС и теплонасосной системы.

Как было сказано выше, использовать энергию охлаждения в 4-12 раз энергетически эффективнее. При применении тепловых насосов для отопления помещения годовые затраты на энергию

снижаются на 10-40% (по сравнению с газовыми котлами, энергетическая эффективность которых составляет 75%). При этом принимается во внимание показатель сезонной производительности (SPF) для систем отопления 3,0 – 4,5 единиц. Наибольшее значение показателя SPF соответствует сроку окупаемости менее 10 лет.

Тепловые насосы и аккумуляция тепловой энергии в скважинах (BTES - borehole thermal energy store)

Если стоит необходимость в небольшой мощности, целесообразно использовать BTES систему, стоимость скважины которой за кВт тепловой энергии сопоставима или даже ниже чем стоимость системы АТЭС и составляет от 800 до 1400 евро за 1кВт тепловой энергии в зависимости от грунта (песок или глина). Низкие затраты на обслуживание, надежность и небольшие издержки делают грунтовые петли превосходными при потребности в небольшой мощности. К тому же эти системы можно эксплуатировать, когда нет водоносного горизонта или он непригоден для использования.

Недостатком таких систем является низкая температура источника тепла во время отопительного сезона - около 0°C. В результате этого, фактор сезонной производительности в среднем ниже на 0,5 пункта. На рис.2 изображены грунтовые петли, размещаемые в строительных сваях (10-25 метров). В Нидерландах успешно реализованы несколько десятков проектов, где в системе отопления и охлаждения используется две петли в свае и петля вдоль сваи.

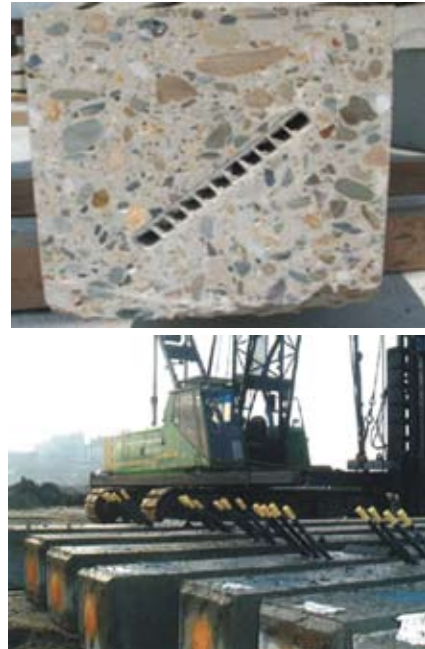


Рисунок 2. Сваи с теплообменниками (слева: Betonson, справа: Voorbij) [5]

Рост рынка теплонасосных систем прямого расширения в Нидерландах все еще проходит период становления. В состав системы прямого расширения входит медная испарительная петля, которая вместе с хладагентом помещается на глубину 10-30 метров под землю. На момент написания этой статьи было установлено только несколько таких систем.

Бетонные стержни

При строительстве зданий используют (сборные) бетонные стержни (рис. 3). Температура подачи/обратки соответственно составляет 24/22°C и является достаточной для отопления, а так же позволяет увеличить коэффициент COP на один пункт, в результате чего увеличивается коэффициент сезонной производительности в 0,7 раз, то есть затраты на электроэнергию снижаются на 15%. Кроме того стоимость строительства комплексных грунтовых петель на 10-15% ниже, чем установка обычных нагревательных элементов. Бетонные сваи становятся стандартом строительства новых офисных зданий и при основательном ремонте сооружений.



Рисунок 3. Сборные крепления для отопления пола с низкотемпературными петлями

Заключение

Система АТЭС получила широкое распространение в коммунальном секторе благодаря значительной экономии средств, затрачиваемых на охлаждение. В настоящее время совместная работа АТЭС и теплонасосных систем экономически эффективна, благодаря качеству оборудования и наличию нормативных документов и законодательства. Если существует потребность в небольшой мощности, целесообразно применять систему ВТЭС, преимуществом которой являются низкие затраты на обслуживание. Для крупных проектов системы ВТЭС также выгодны благодаря своей надежности и упрощенной процедуре получения разрешения.

При применении тепловых насосов в строительном секторе стимулируется минимально необходимыми требованиями коэффициента энергетической эффективности (ЕРС) по стандарту NEN2916. В соответствии с национальной стратегией государство предоставляет субсидии на установку тепловых насосов.

В системах ВТЭС и АТЭС необходимо доработать систему контроля, добиться оптимального проектирования и эксплуатации источников для достижения высокой производительности теплового насоса во время отопительного сезона.

References

- [1] J.R. Ybema, P. Kroon, T.J. de Lange, G.J. Ruijg, De bijdrage van duurzame energie in Nederland tot 2020, ECN report, ECN-C--99-053, 1999
- [2] www.nvoe.nl
- [3] L. Beurskens, M. Menkveld, Sustainable heating and cooling in the Netherlands Nederland D3, report for the IEE project "Policy development for improving RES-H/C penetration in European Member States (RES-H Policy)", June 2009
- [4] E. Gerritsen, D. van de Kooij, E. Blankenstijn, R. Schilt, article in Dutch installation magazine VV+, p234-237, 2009
- [5] NEN2916, Energieprestatie van utiliteitsgebouwen – Bepalingsmethode, 2004, www.nen.epn.nl
- [6] C. Geelen, F. Koene, Energy piles as an efficient way to store heat, Energy Cadett, Special issue on the Netherlands, 2000



Энергосервисная компания
«Экологические Системы»

www.ecosys.com.ua

Теплоснабжение коттеджей и квартир с помощью тепловых насосов с электротеплоаккумуляторами

В связи дефицитом углеводородного сырья в Украине придается все большее внимание использованию электрической энергии для целей отопления и горячего водоснабжения, как в отдельных квартирах, так и в индивидуальных домах. Рядом фирм в Украине, России и других странах выпускаются электротеплоаккумуляторы, накапливающие физическое тепло за счет использования электронагревателей. Однако, тепловая эффективность таких теплоаккумуляторов достаточно низкая. Альтернативой камням и воде для теплоаккумулирующих систем являются фазопереходные (эвтектические) соли, в основном это хлориды щелочных металлов. Принцип аккумулирования тепла солями заключается в том, что теплоаккумулирующий материал (ТАМ) накапливает с помощью электронагревателей значительное количество тепловой энергии в ночное время по относительно дешевому тарифу на электрическую энергию. При этом ТАМ

переходит из твердого состояния в жидкое (в период плавления) и отдает накопленное тепло при затвердевании. В процессе фазового превращения вещества его температура не меняется, но выделяется так называемая скрытая теплота фазового перехода, количество которой достаточно велико.

Некоторые теплофизические характеристики ТАМ приведены в таблице 1 и эти материалы могут быть использованы в теплоаккумуляторах для отопления бытовых и производственных помещений и поддержания в них комфортных условий труда [1].

С использованием некоторых из этих ТАМов в ИТТФ НАНУ разработаны электрические теплоаккумуляторы, схема которых показана на рис. 1.

Теплоаккумулятор размещается в помещении, где необходимо обеспечить отопление и представляет собой устройство с солевым ядром прямоугольной формы, внутри которого устанавливаются трубчатые нагреватели с развитой наружной по-

Таблица 1. Теплофизические свойства ТАМ с фазовым переходом

№ п/п	Эвтектика	Температура плавления, °С	Теплота плавления, кДж/кг	Теплоемкость ТАМ, кДж/кг·К	Состав по массе, %
1	2	3	4	5	6
1	BeCl ₂ +LiCl	300	248,8	0,86	70,8/29,2
2	CuCl ₂ +FeCl ₃	263	244,4	0,72	12/18
3	NaBr +NaOH	261	221,0	0,79	11/89
4	NaCl+ZnCl ₂	260	226,1	0,58	11/89
5	LiCl+ LiNO ₃	252	376,9	1,29	7,6/92,4
6	Li ₂ CO ₃ + LiNO ₃	250	372,6	1,29	2/98
7	K, Na/NO ₃ +KA	115	113,0	1,27	15/85
8	K, NaNH ₄ /NO ₃ +KA	100	108,7	1,24	20/80
9	NaNO ₂ +NaNO ₃ + KNO ₃	90	131,8	0,57	40/7/53
10	K, Na,Li/NO ₃ +KA	87	155,5	0,69	20/80
11	K, Na,NH ₄ /NO ₃ +AA	84	144,4	0,68	70/30
12	K, Na,Li/NO ₃ +KA	78	145,1	1,08	30/70
13	K, Na,NH ₄ /NO ₃ +KA	75	162,7	0,65	80/20
14	K, Na,Li/NO ₃ +KA	63	169,2	0,81	40/60
15	K, Na,NH ₄ /NO ₃ +AA	60	174,9	0,78	20/80
16	K, Na,NH ₄ /NO ₃ +AA	51	203,4	0,49	40/60

верхностью. Солевое ядро находится в контейнере, имеющим изнутри эффективную теплоизоляцию. Нагрев воздуха помещения осуществляется в щелевом канале между теплоизоляцией и корпусом солевого ядра, как в режиме естественной конвекции, так и при вынужденном движении воздуха, создаваемого тангенциальным электровентилятором. Теплоаккумуляторы оснащаются автоматическим регулированием, работают практически бесшумно, не требуют специального обслуживания и легко подключаются к соответствующим их мощности электрическим сетям, имеющим трехтарифный счетчик электрической энергии.

Основные технические данные электротеплоаккумулятора приведены в таблице. 2.

К недостаткам этих теплоаккумуляторов следует отнести необходимость размещения устройств в каждой комнате; достаточно большие как для отдельной комнаты габариты и вес устройства, кроме

того, солевое ядро должно нагреваться в ночное время до достаточно высокой температуры, а стоимость некоторых ТАМ все еще высока.

Аналогичный принцип аккумулирования тепла заложен и в теплоаккумулирующих электроводонагревателях. Разработаны два варианта водонагревателей, различающихся конструкцией и тепловой емкостью. В первом из них нагрев воды происходит непосредственно во время водоразбора при ее движении через трубчатый змеевик. Оребренный снаружи змеевик омывается жидкостью (вода или антифриз), переносящей теплоту от полимерных капсул, заполненных теплоаккумулирующим веществом. Во втором – теплоаккумулирующее вещество окружает емкость для нагреваемой воды. При водоразборе горячая вода полностью или частично вытесняется холодной. После установления теплового равновесия новая порция горячей воды вновь готова к использованию [2].

Таблица 2

Тип прибора	Мощность заряда, кВт	Аккумулируемая энергия, кДж	Температура горячего воздуха, °С	Габаритные размеры, мм	Масса, кг
ЭТА-2	2	$57 \cdot 10^3$	90	240x650x600	72
ЭТА-3	3	$67 \cdot 10^3$	90	240x650x800	100
ЭТА-4	4	$115 \cdot 10^3$	90	240x650x1000	130

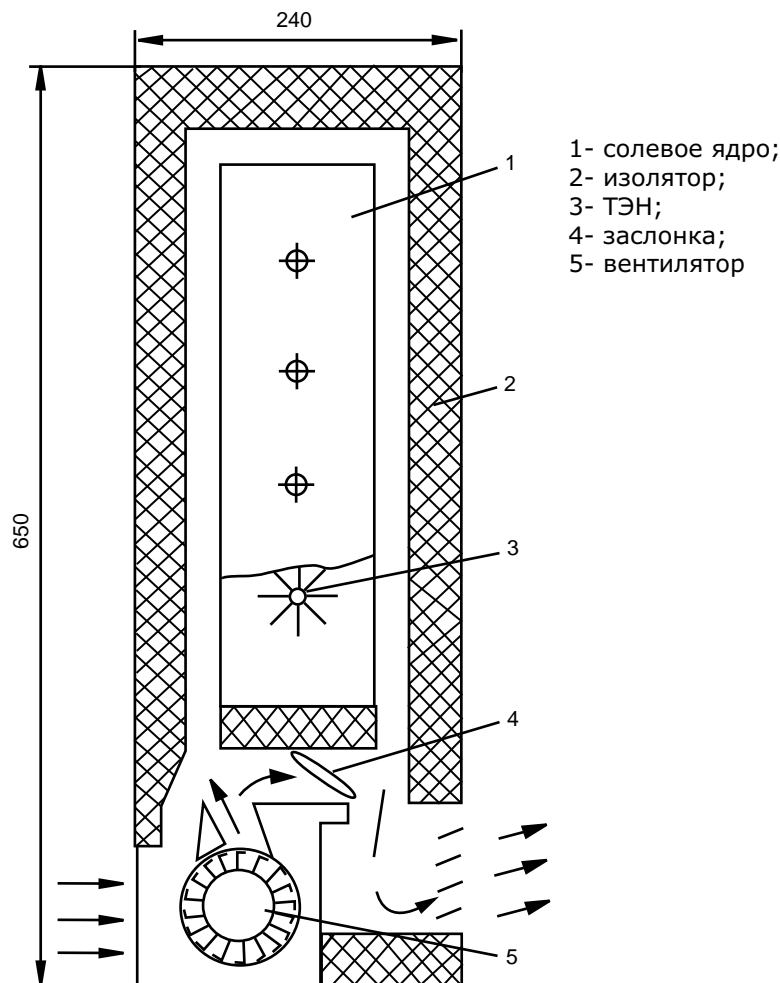


Рисунок 1. Электрический теплоаккумулятор для отопления помещений

Технические данные теплоаккумулирующих электронагревателей

	Вариант I	Вариант II
Тепловая емкость (расчетная), МДж	25	14
Максимальная температура нагрева воды, °С	90	90
Отбор воды при нагреве от 5 до 40°С, кг	150	80
Мощность электронагревателя, кВт	1	0,6
Габаритные размеры, м	0,5х0,5х1,1	0,41х0,41х0,53
Масса, кг	150	75

В ряде стран Европы и Северной Америки в последние годы реализовано ряд пилотных проектов электроотопления с теплоаккумуляторами, в которых также используются вещества с фазовым переходом.

На рис. 2 схематически показана система отопления жилого дома во Флориде (США).

Система состоит из семи цилиндров для аккумуляции теплоты. Каждый цилиндр, заполненный пентаэритритолом, принадлежащий к группе полиспиртов, имеет невысокую стоимость и нетоксичен.

При температуре 182,2°С пентаэритритол начинает переходить в жидкое состояние, а при 265,6°С в газоподобное. Удельная теплоемкость материала – 1,79 кДж/(кг•К), теплота фазового перехода – 270 кДж/кг. Цилиндры, расположенные в тесно связанной упаковке для минимизации тепловых потерь, нагреваются от электрических обмоток, расположенных в массе материала. Трубы охлаждения, в которые закачан агент R 134а, проходят по центру цилиндров. Агент R 134а, испаряясь, переносит энергию из цилиндров-аккумуляторов в конденсатор, находящийся в циркуляционном воздуховоде, используемого для обогрева, вентиляции и кондиционирования воздуха в жилом доме. Рабочий цикл начинается из зарядки аккумулятора теплотой, проходящей во внепиковый период, в основном ночью. Утром аккумулятор включается, и зааккумуляированная энергия используется для обогрева дома путем циркуляции холодного воздуха через конденсатор. При нагреве воздуха R 134а конденсируется и через электромагнитный клапан возвращается в цилиндры. Система включается и выключается путем закрытия и открытия клапана. Дополнительный резервуар служит для компенсации расширения пара при нагреве. Пентаэритритол нагревается электрическими обмотками до температуры, лежащей в пределах от 183°С до 265°С. Для равномерного распределения энергии в теплоаккумуляционном материале трубы охлаждения в цилиндрах оснащены ребрами.

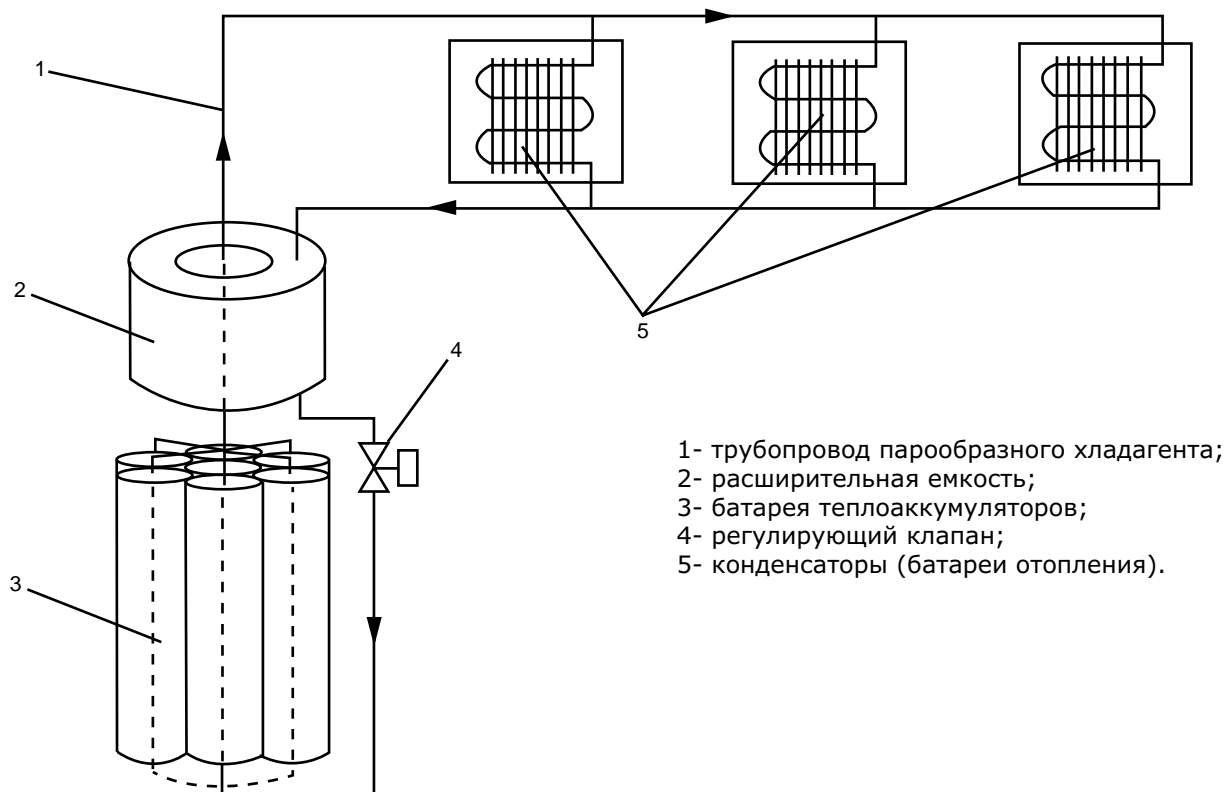


Рис. 2. Схема системы центрального отопления с использованием электротеплоаккумуляторов и промежуточного теплоносителя

Температура пентаэритрита значительно выше от температуры необходимой для обогрева помещений в здании. Эта температура ограничивается пропускной способностью системы подачи пара и расширительной емкостью. Паропроводы сначала заполняются агентом R 134a при температуре 51,7°C так, чтобы уровень был на уровне цилиндров-аккумуляторов. Размер расширительной емкости выбран такой, чтобы при 100% испарении R 134a давление в системе не превышало величину давления при выбранной рабочей температуре – 65,6°C.

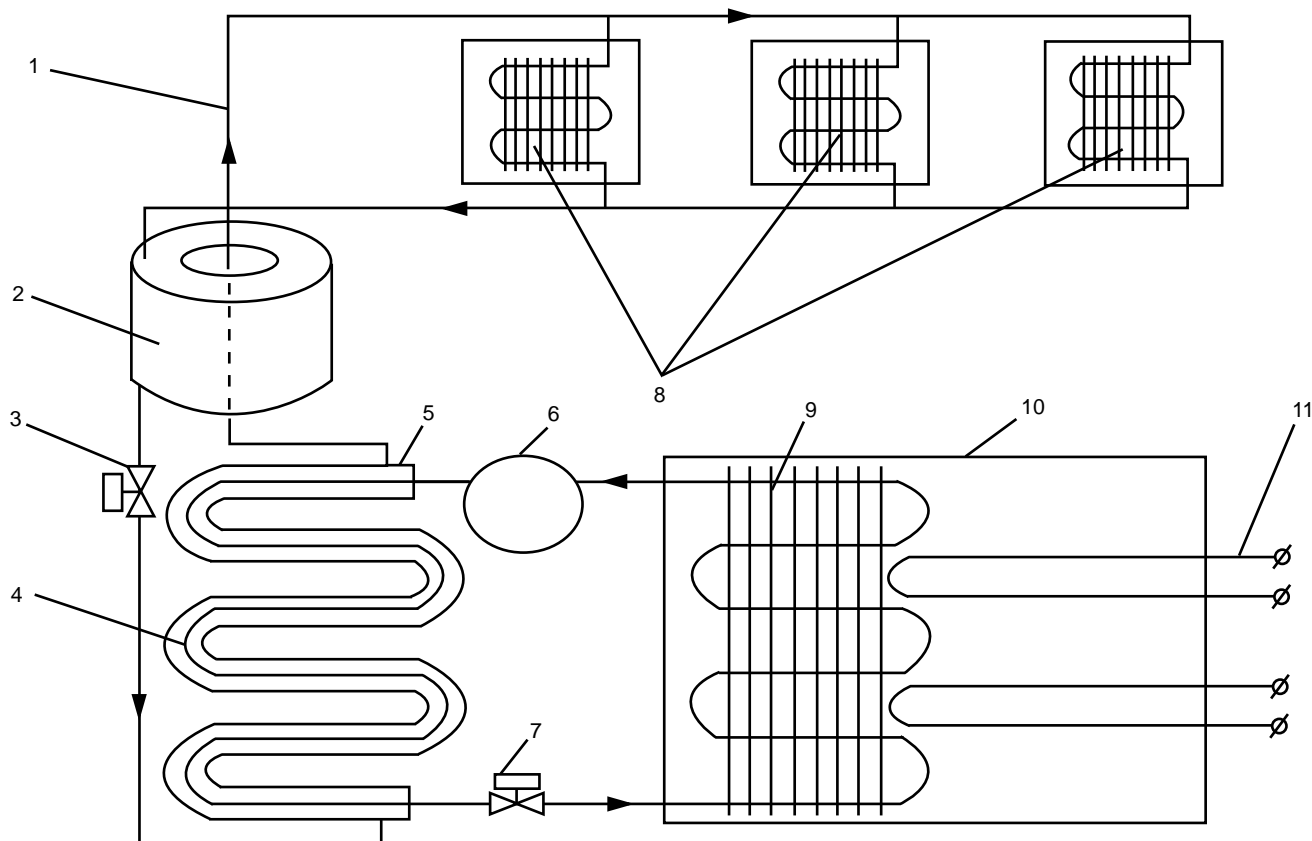
Когда температура пара падает ниже максимальной температуры, уровень конденсата поднимается к крышке в середине цилиндров, увеличивая до максимума скорость теплопередачи. Когда температура пара превышает уровень максимальной рабочей температуры, уровень жидкости падает ниже уровня аккумулирующих элементов, эффективно останавливая передачу энергии. Для регулирования температуры среды аккумуляторов нагревательные элементы можно соединять параллельно, последовательно и параллельно-последовательно относительно электросети.

Для уменьшения теплотерь установлена общая теплоизоляция, класса P 40 [3]. В ОКБ ИТФ

НАНУ в настоящее время разрабатываются универсальные системы электроотопления квартир и отдельных небольших зданий на базе использования теплоаккумуляторов и тепловых насосов. Схемы этих систем представлены на рис. 3, 4.

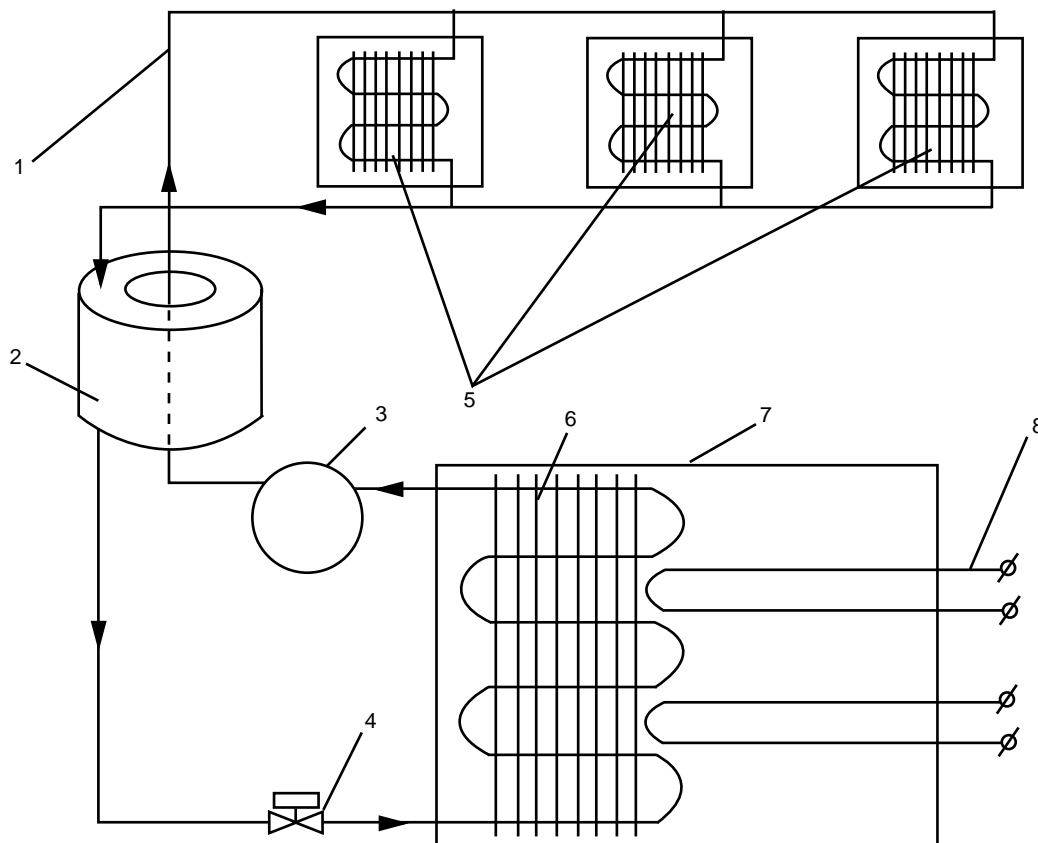
Особенностями по выбору подходящей соли для использования ее в теплоаккумуляторе, работающем в связке с тепловым насосом являются:

- соль должна быть сравнительно дешевой;
- температура плавления соли должна быть на уровне температуры испарения хладагента теплового насоса, т.е. +20-35°C;
- ее фазовый переход должен иметь значительную величину скрытой теплоты, т.е. соль при плавлении должна накапливать большое количество тепла;
- соль должна обладать хорошей воспроизводимостью свойств на протяжении большого числа фазопереходных процессов без серьезного ухудшения эффекта скрытой теплоты;
- соль должна быть доступна в больших количествах;
- приготовление соли должно быть сравнительно простым;
- соль должна быть безвредной (нетоксичной, невоспламеняющейся, негорючей, некорродирующей).



1- трубопровод парового теплоносителя; 2- расширительная емкость;
3,7- регулирующие клапаны; 4- конденсатор теплового насоса; 5- испаритель теплоносителя;
6- компрессор; 8- конденсаторы (батареи отопления); 9- испаритель теплового насоса;
10- теплоаккумулирующая емкость; 11- электронагреватели

Рисунок 3. Схема системы центрального отопления с использованием электротеплоаккумуляторов, теплового насоса и промежуточного теплоносителя



1 - трубопровод парообразного хладагента; 2 - расширительная емкость; 3 - компрессор; 4 - терморегулирующий вентиль; 5 - конденсаторы теплового насоса (батареи отопления); 6 - испаритель теплового насоса; 7 - теплоаккумулирующая емкость; 8 - электронагреватели.

Рисунок 4. Схема системы отопления с использованием электротеплоаккумуляторов и тепловых насосов

В настоящее время наиболее широко изученной является глауберова соль, которая плавится при температуре $32,2^{\circ}\text{C}$ и в процессе плавления аккумулирует 244 кДж на 1 кг .

Другой солью, отвечающей вышеприведенным требованиям, является хлорид кальция (при плотности $1,622 \text{ кг/дм}^3$), имеющий точку плавления 29°C , а тепловой эффект фазового перехода из твердого в жидкое состояние составляет $175,85 \text{ кДж/кг}$.

При применении той или иной соли в аккумуляторах, использующих теплоту фазовых переходов, свойственно явление переохлаждения и поэтому его (переохлаждение) важно предотвращать. Например, для теплоаккумуляторов на основе хлорида кальция разработана и введена в практику добавка в воде хлористого стронция, которая исключает переохлаждение расплава и отличается большой надежностью [4].

Кроме того, если тепловой аккумулятор работает в связке с тепловым насосом, то соответствующей регулировкой работы испарителя теплового насоса также можно исключить явление переохлаждения рабочего вещества теплоаккумулятора.

Ниже приведены некоторые основные исходные данные по системе теплоснабжения отдельного коттеджа, состоящей из электротеплоаккумулятора, теплового насоса и фанкойлов.

Основные исходные данные и результаты расчета по системе теплоснабжения отдельного коттеджа с помощью теплового комплекса, состоящего из теплового насоса и электротеплоаккумулятора

Исходные данные:

1. Обогреваемая площадь – 85 м^2 .
2. Удельное теплотребление – 60 Вт/м^2 .
3. Теплопроизводительность теплового насоса – $5,1 \text{ кВт}$.
4. Тарифы на электроэнергию для населения:
 - $9,74 \text{ коп.}$ – льготный с 2300 до 700 часов – 8 часов;
 - $24,36 \text{ коп.}$ – полный с 700 до 800, с 1100 до 2000, с 2200 до 2300 часов – 11 часов;
 - $36,54 \text{ коп.}$ – максимальный с 800 до 1100, с 2000 до 2200 часов – 5 часов.
5. Теплоаккумулирующее вещество – хлорид кальция (точка плавления – 29°C , эффект фазового перехода – $175,85 \text{ кДж/кг}$ при плотности $1,622 \text{ кг/дм}^3$).

6. Емкость бака-теплоаккумулятора – 1000 дм³.
7. Стоимость 1Гкал тепла по состоянию на 01.01.2009 г. – 200 грн.
8. Помещение оборудовано трехтарифным электросчетчиком.

Тепловой комплекс работает следующим образом:

- В период действия льготного тарифа включены электронагреватели мощностью 15 кВт, при этом 10 кВт используется для аккумуляции тепла, а 5 кВт – для отопления дома.

- В период действия полного тарифа включен тепловой насос, который отапливает дом, используя накопленное тепло с коэффициентом преобразования энергии не ниже 3,5.

- В период действия максимального тарифа на электроэнергию тепловой насос и электронагреватели выключены, но так как квартира (дом) представляет собой пассивный теплоаккумулятор, то за время отключения теплового комплекса температура в помещении может снизиться на 1-2°C, что практически незаметно.

Результаты расчета

1. Бак-теплоаккумулятор накопит 80 кВт тепла в сутки.

2. Электронагреватели отопления дома производят 40 кВт тепла.

3. Доля электрической мощности компрессора теплового насоса в тепловом балансе дома – 16 кВт, всего за сутки – 136 кВт, а за отопительный сезон

$$Q = 136 \cdot 180 = 24\,480 \text{ кВт (21,053 Гкал)}$$

4. Стоимость электроэнергии, потребленной в ночное время за отопительный сезон

$$P_1 = (10 + 5) \cdot 8 \cdot 180 \cdot 0,0974 = 2\,104 \text{ грн.}$$

5. Стоимость электроэнергии, потребленной в период действия полного тарифа на электроэнергию за отопительный сезон

$$P_2 = 1,46 \cdot 11 \cdot 180 \cdot 0,2436 = 704 \text{ грн.}$$

6. Всего за отопительный сезон будет израсходовано электрической энергии на сумму

$$P = P_1 + P_2 = 2\,104 + 704 = 2\,808 \text{ грн.,}$$

или в среднем за месяц – 468 грн.

7. Для производства 21,053 Гкал тепла, необходимо сжечь в газовом котле 3289 м³ природного газа:

- при цене за 1000 м³ газа 700 грн. без эксплуатационных расходов стоимость тепла – 2 302 грн.;

- при цене за 1000 м³ газа 900 грн. (117 \$) стоимость тепла составит 2 960 грн.

8. К сведению, чисто электрическое отопление данного дома за 6 месяцев отопительного сезона будет стоить

$$PЭ = 5 \cdot 24 \cdot 30 \cdot 6 \cdot 0,2436 = 5\,367 \text{ грн.,}$$

или в среднем за месяц – 894 грн., что примерно в 2 раза дороже стоимости тепла по предлагаемому варианту теплоснабжения.

Выводы:

- Стоимость отопления рассматриваемого дома с помощью теплового комплекса, состоящего из электротеплоаккумулятора и теплового насоса, становится меньше стоимости отопления газовым котлом при тарифе на газ свыше 900 грн. за 1000 м³. Кроме того, целесообразность применения предлагаемого теплового комплекса электротеплоаккумулятор плюс тепловой насос еще более повышается, если к дому еще надо укладывать газопроводы, оформлять техдокументацию и согласовывать ее с газовой инспекцией;

- К недостаткам предлагаемого теплового комплекса следует отнести: зависимость от энергетических сетей и более значительные капиталовложения по сравнению с системами отопления природным газом или электронагревом.

Список литературы

1. Корчинский Н., Федорейко В., Щербань В. Энергосбережение в агропромышленном комплексе. – Тернополь. Учебники и пособия, 2001, с. 984

2. Теплообменные аппараты и устройства бытового и технического назначения. Киев. Зовнішторгвидав України, 1999, с. 20

3. Голуб Г.А. Тепловой насос в системе отопления жилых домов. Межведомственный научный сборник «Механизация и электрификация сельского хозяйства». К. Урожай, 1991, вып. 74, с. 51-53

4. <http://www.mensh/ru/book/export/html/105>



Мир энергосбережения

« »

www.esco.co.ua

Специфика Российского рынка тепловых насосов ...и перспективы его дальнейшего развития

Вопреки оптимизму некоторых аналитиков в отношении перспективы использования тепловых насосов в России, пока в этом вопросе мы находимся едва ли не на самом последнем месте в мире. К примеру, от Эстонии по инвестициям в тепловые насосы на душу населения мы отстаём более чем в 200 раз. Так, в 2008 году в Эстонии тепловых насосов было установлено на сумму более чем 30 млн. евро (1), а в России с населением в 100 раз больше в 2010 году эти инвестиции оцениваются лишь на уровне 15-16 млн. евро (2).

Сам факт такого отставания заметен и без приведённой выше статистики, поэтому бесчисленные попытки поиска причин данной ситуации стали сегодня едва ли не самым популярным жанром публикаций о тепловых насосах. Причиной же, как, к стати, и следствием столь неиссякаемой популярности жанра является то, что бесспорно объективных обоснований столь потрясающей разницы так до сих пор и не выявлено. Существующий уровень использования тепловых насосов в России это не более чем элементарное прозябание на как нельзя более актуальном сегодня направлении и вряд ли кого может устраивать, но похоже, что без выяснения указанных причин рассчитывать на изменение ситуации не приходится.

Поскольку ситуация повсеместна и практически идентична, все подобные исследования объединяет то, что причина, препятствующая использованию тепловых насосов, изначально предполагается и разумеется. В исследованиях, которые можно встретить в рунете, это, например: доступность традиционных энергоносителей, несовершенство действующего законодательства, отсутствие благоприятной конъюнктуры, климатические особенности и т.д. На неофициальном же уровне могут обсуждаться: национальный менталитет, общественные традиции, социальные условности и какие угодно внутренние предпочтения, противоречия или корпоративные интересы. Между тем специфика России такова, что какие бы из вышеперечисленных аргументов нам не показались наиболее актуальными для страны и государства в целом, всегда отыщется ситуация, в которой справедливы будут , что неизбежно обуславливает и . Но главное, что в чём бы ни состояли выводы подобных исследований, они не могут служить основой для внятных стратегических рекомендаций, в принципе, поскольку опираются на аргументы, имеющие характер и максимум что позволяют - ждать и надеяться на изменение ситуации в будущем.

Истинное же объяснение причин столь фатального отсутствия интереса к тепловым насосам в России лежит на поверхности, всем очевидно, аб-

солютно бесспорно и не подлежит ни малейшему сомнению.

Объяснение это состоит в том, что

Если исходить из этого суждения буквально, мы получаем возможность из области не зависящих от нас обстоятельств перейти в сферу задач . Чтобы оценить правомерность сложившегося общественного мнения и понять причины его формирования, воспользуемся таблицей 1.





Помимо основных типов тепловых насосов, в зависимости от источников тепла, здесь приведены объективная оценка их эффективности и субъективное восприятие большинством потенциальных потребителей величины необходимых капитальных затрат. Из таблицы 1 видно, что обсуждать можно все четыре варианта.

(), для которых капитальные затраты, к сожалению, также максимально высоки. Поскольку такой , важно понять, насколько объективно обосновано стремление к подобному максимализму и каким образом оно формируется.

До недавнего времени считалось, что источником низкопотенциального тепла для теплоснабжения тепловыми насосами на территории России может быть только грунт. Так, в сущности, и было на самом деле. Недавно же было установлено, что для этой цели вполне подходит и воздух (3), если в качестве тепловых насосов использовать современные ().

10-15% (4). Поэтому выбор в пользу ГТН - самого дорогого по капитальным затратам из возможных вариантов без соответствующего выигрыша при последующей эксплуатации возможен только в случае если этот вариант воспринимается покупателем . Отмеченный же выше максимализм диктуется исключительно недостаточной осведомлённостью потенциальных потребителей. Ещё больше усугубляет ситуацию структурная специфика, успевшая наметиться на российском рынке.

Таблица 1. Основные типы тепловых насосов и их объективные и субъективные потребительские характеристики

Источник тепла	Типы тепловых насосов	Эффективность	Капитальные затраты
Грунт	 <p>Вертикальный зонд</p>	максимальная	огромные
	 <p>Горизонтальный коллектор</p>	высокая	значительные
Воздух	 <p>Наружный воздух-вода</p>	средняя	допустимые
	 <p>Наружный воздух-воздух</p>	приемлемая	предпочтительные

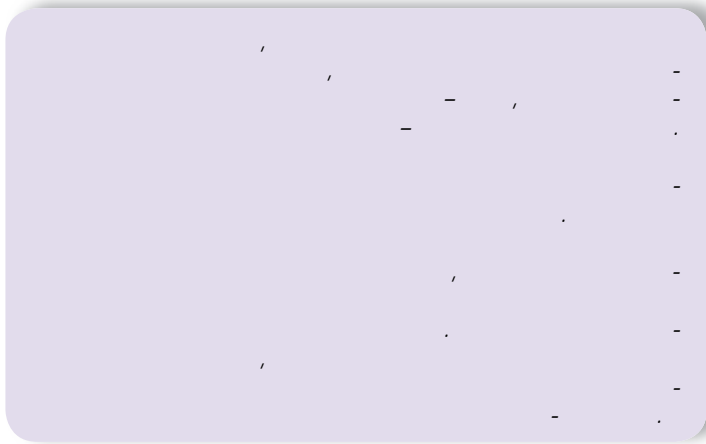
Срок окупаемости тепловых насосов зависит не только от типа энергоносителя, по отношению к которому он рассчитывается (газу, электроэнергии, твёрдому или жидкому топливу), но и от масштаба объекта. Так, по данным Финской Ассоциации Тепловых Насосов – *SULPU*, срок окупаемости для финского домика $110-120 \text{ м}^2$ составляет 10-15 (5). В британском же источнике (6) говорится, что для дома площадью $130-170 \text{ м}^2$ окупится через 27 . В исследовании (7), проведённом в США, приводятся сроки окупаемости реально существующих объектов. Для 27 сроки окупаемости ГТН варьируются в пределах от 1,4 до 24,1 года, а для 17 объектов – от 1,3 до 4,7 лет, соответственно. В итоге было установлено, что ГТН для крупных коммерческих объектов окупаются 2 , чем для бытовых.

Если, согласно действующей классификации, бытовыми считаются объекты с тепловой мощностью от 5 кВт до 20 кВт , то крупными – объекты с мощностью от $50-60 \text{ кВт}$. На сокращение сроков окупаемости крупных дополнительно влияет и то, что, помимо теплоснабжения, они обязательно используются для центрального кондиционирования, а поэтому их геотермальные контуры используются для сезонного аккумулирования тепла *Underground Thermal Energy Storage (UTES)*. Это позволяет достичь окупаемости крупных в пределах 4-6 . Об опыте или планах возведения таких в России до сих пор ничего не сообщалось.

Чтобы рассчитывать на приемлемый срок окупаемости в России – при отсутствии государственной поддержки, их целесообразно устанавливать

исключительно на крупных коммерческих объектах. Однако, согласно исследованию (8), российский рынок тепловых насосов основан именно на бытовых - 15-30 , что подразумевает самые длительные сроки окупаемости.

Сегодня известно, что современные имеют все необходимые качества для эффективного использования их во многих ситуациях вместо более дорогих в установке . Подробное обоснование этого, соответствующие статистике и масштабы процесса иллюстрируют фактические данные из приведённых выше источников (1...4). На фоне этих данных, обобщённых в компиляции (9), появившейся в самом конце 2010 года, официально зафиксировано то, что в отличие от рынков Северной Европы



Казалось бы, понимание специфики ситуации позволит и повлиять на её изменение. Поскольку рассчитывать на участие пока не приходится, а работа над крупными проектами требует мобилизации значительных сил и времени, понятно, что

. Однако и здесь не обошлось без

Анализ зарубежного опыта позволяет установить, что в Северной Европе наибольшей популярностью сегодня пользуются : , причём доля первых в общей структуре рынка составляет примерно 20 % (2). - присутствуют в ассортименте практически всех российских специализированных теплонасосных фирм и уже некоторых климатических. же приобретения в том, что в теплонасосных фирмах вам, скорее всего, предложат , а сразу установить , которые в этих фирмах, разумеется, также имеются в наличии. А вот в климатических фирмах - наоборот, могут посоветовать и вместо теплового насоса поставить котёл, которыми многие климатические фирмы бывает, что и не занимаются. Хотя сегодня - представлены на российском рынке уже достаточно широко многими поставщиками, ни заметной инициативы по их продвижению, ни соответственно, ответного потребительского интереса к этим тепловым насосам пока не зафиксировано. Все - оборудованы вспомогательными электронагревате-

лями и хотя большинство из них позиционированы для работы до -20 или до -25 , работать они будут при любой наружной температуре. Но если здесь всё более-менее понятно, то вот с - дело обстоит сложнее. Здесь нас ожидает

- являются сегодня, пожалуй, самыми загадочными субъектами на российском климатическом рынке. Поскольку внешне они практически ничем не отличаются от обычных сплит-систем, работающих на обогрев только при умеренных наружных температурах, в большинстве климатических фирм, где эти уже появились, они - . Поскольку отопительные возможности сплит-систем, которые и в самом деле до этого позиционировались у нас только в качестве кондиционеров, ранее всерьёз никогда не обсуждались, возникло ощущение, что - , по-видимому, должны представлять собой нечто принципиально иное.

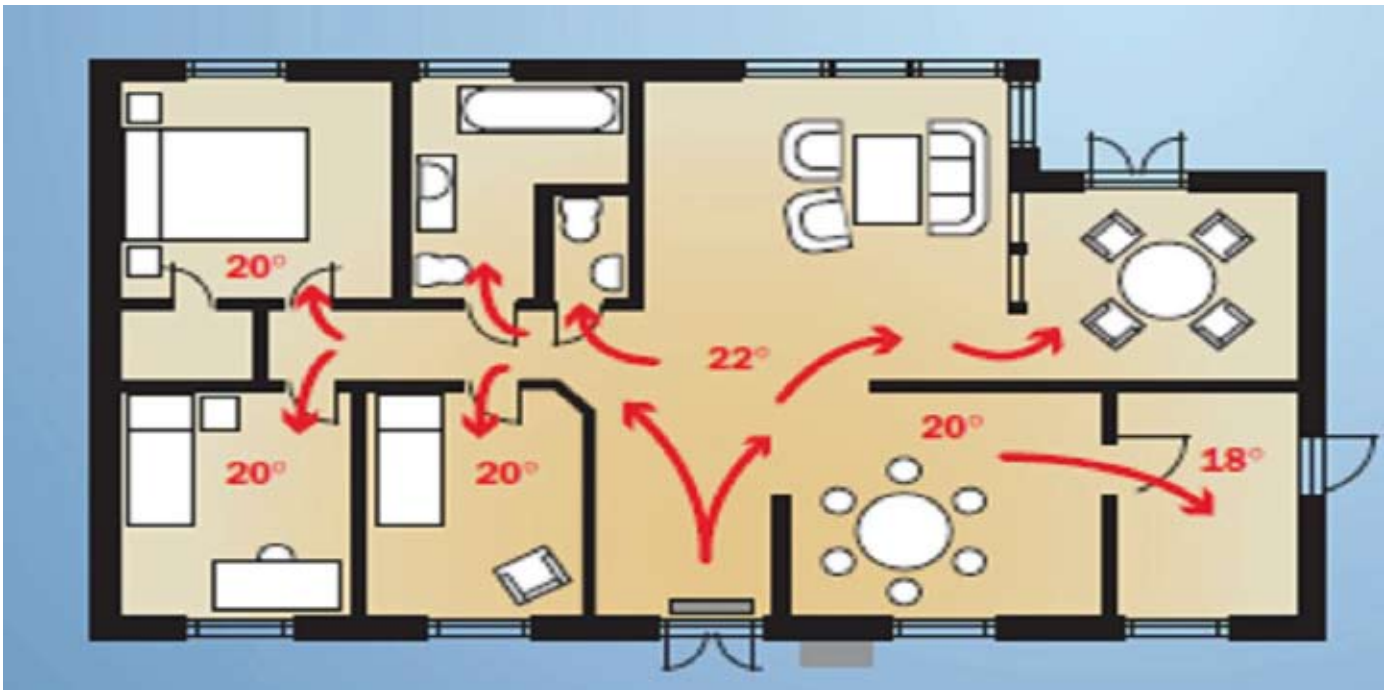
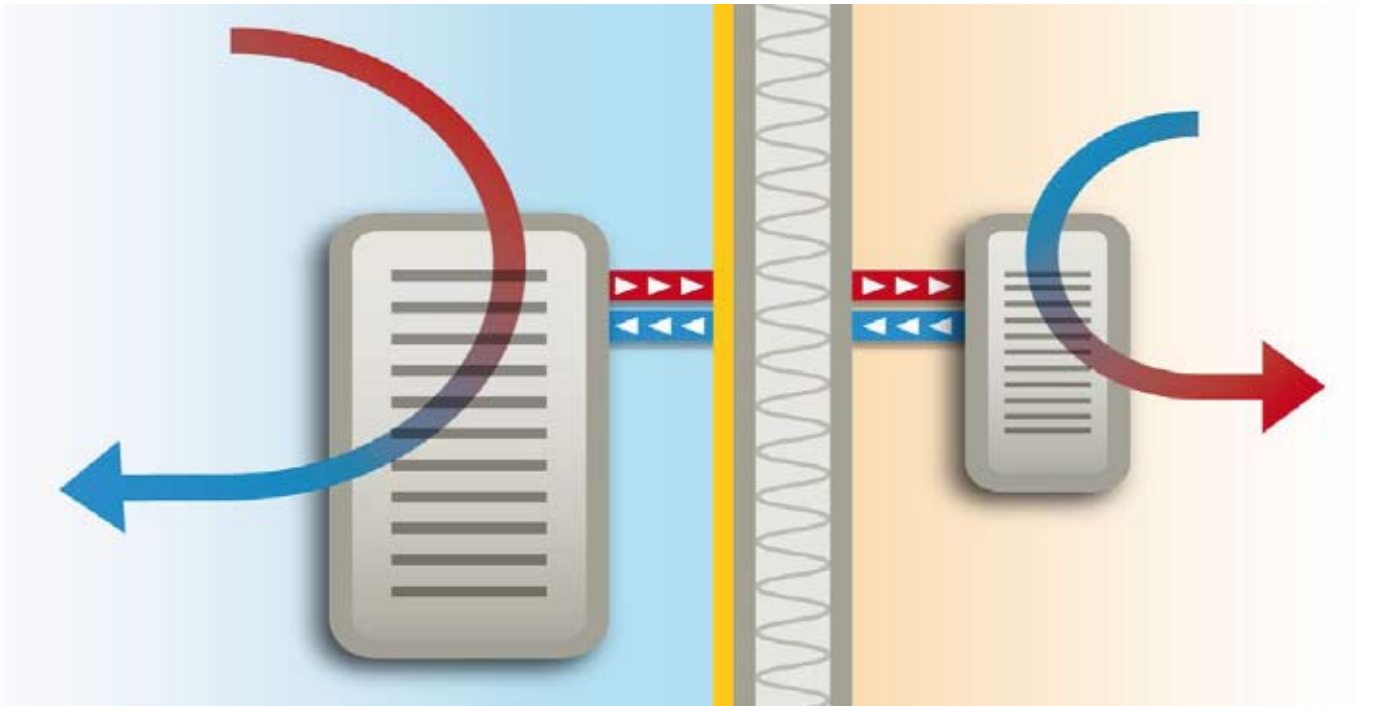
Очевидно, вследствие убеждённости, что - должны и выглядеть принципиально как-то иначе, чем обычные сплит-системы, они оказались на как бы полулегальном положении. Формально - , пригодные для теплоснабжения в России, есть практически у всех заметных производителей и появились уже у многих российских поставщиков. Фактически же - большинство из тех, у кого эти НВТН-призраки уже имеются в наличии, информировать потенциальных потребителей об их существовании не торопятся.

Преодолеть условности, связанные с подобного рода , позволяет недавно проведённое исследование (10), из которого следует, что

15

Сегодня на российском рынке ориентировочная стоимость НВТН воздух-вода премиум-класса начинается от 750 евро/кВт. Наиболее распространённый тип НВТН воздух-воздух с наиболее привлекательной удельной стоимостью начиная, примерно от 250 евро/кВт, позволяет ориентироваться на минимальный срок окупаемости. Стоит ли говорить о том, что именно НВТН воздух-воздух это и есть тот самый - наиболее предпочтительный по совокупности потребительских свойств вариант теплового насоса?

Однако если усилий по продвижению - просто не заметно, то о существовании - потенциальным потребителям не известно вообще ничего. Показательным является то, что любой поисковик в рунете на запрос: « - » приводит ссылку только в словосочетании со словом « ». Это позволяет думать, что положить начало изменению ситуации можно, если просто начать называть вещи своими именами. Пока же для потенциального потребителя понятия « » практически не существует, а с понятием « » он ассоциирует только наиболее дорогие и наиболее долго окупающиеся



НВТН воздух-воздух: принцип действия и способ функционирования

, а отсюда – и соответствующие общественное восприятие, и рейтинг России в этом вопросе.

мерно долго затянувшегося отсутствия на рынке возобновляемой энергетики Россия получила все шансы и должна действовать так, чтобы обойти все те грабли, которые в своё время вынуждены были преодолевать многие из сегодняшних лидеров процесса. Поэтому положительным примером для нас должны стать не столько страны – сегодняшние лидеры, а в большей степени страны, относительно недавно приступившие к активному использованию тепловых насосов, но успевшие достичь заметного успеха.

Приступая к освоению новой и чрезвычайно актуальной для нас темы, принципиально важен максимально выверенный подход к оценке целесообразности распределения усилий в то или иное стратегическое направление. После итак непо-

Наиболее наглядным положительным примером здесь, безусловно, можно считать Норвегию – последнюю из скандинавских стран, приступившую к

активному освоению тепловых насосов. Норвегия, наиболее холодная из скандинавских стран расположена между 58 и 71° с. ш. В таблице 2 приведены удельные расходы тепла на теплоснабжение одного жителя Скандинавии и тарифы на электроэнергию в этих странах. Разница тарифов для промышленных и бытовых потребителей призвана стимулировать последних к использованию возобновляемых источников энергии.

Основным энергоносителем для теплоснабжения в Норвегии является электроэнергия, 99% которой производится малыми ГЭС. В 2007 году на каждого жителя Норвегии было произведено 24 997 киловатт-часов электроэнергии, что стало абсолютным мировым рекордом и обеспечило мировое лидерство по уровню жизни ^{а)} (11). Как и у России, значительная часть бюджета Норвегии формируется экспортом углеводородов, которые для получения электроэнергии не используются. По экспорту газа и электроэнергии, а также по выработке ги-

дроэлектроэнергии Норвегия в мировых рейтингах следует непосредственно за Россией – таблица 3.

Несмотря на столь благоприятную ситуацию, как с природными энергоносителями - углеводородами, так и возобновляемым - гидроэлектроэнергией, ресурс, которого также в конечном итоге ограничен, Норвегия менее чем за 10 лет грамотно спланированной инвестиционной политики сумела завоевать лидирующие позиции в области использования неограниченных запасов возобновляемой энергии - тепловых насосов.

Поскольку низкие тарифы на энергоносители подразумевают длительные сроки окупаемости инвестиций в энергосбережение, в Норвегии интерес к тепловым насосам стал появляться относительно недавно. Поэтому вполне естественно и закономерно то, что в первую очередь в Норвегии стали использоваться наиболее дешёвые в установке воздушные тепловые насосы – рисунок 1.

Таблица 2. Удельные расходы тепла и тарифы на электроэнергию в скандинавских странах

Страна	Ежегодный расход тепла на обогрев 1 жителя, кВт·час	Тарифы на электроэнергию в 2009 году, USD/кВт·час	
		для бытовых потребителей	в промышленном секторе
Норвегия	9932	0,1373	0,0587
Финляндия	9865	0,1737	0,0974
Швеция	9663	0,1940	0,0827
Дания	9396	0,3655	0,1106

Таблица 3. Мировые рейтинги России и Норвегии в 2010 году ^{® IEA}

Страна	Газ		Электроэнергия		Гидроэлектроэнергия	
	№ п/п	Экспорт газа	№ п/п	Экспорт э/э	№ п/п	Выработка г/э
РФ	1	140 млрд. м ³	5	18 ТВт*час ^{б)}	7	167 ТВт*час
Норвегия	2	100 млрд. м ³	6	14 ТВт*час	8	141 ТВт*час

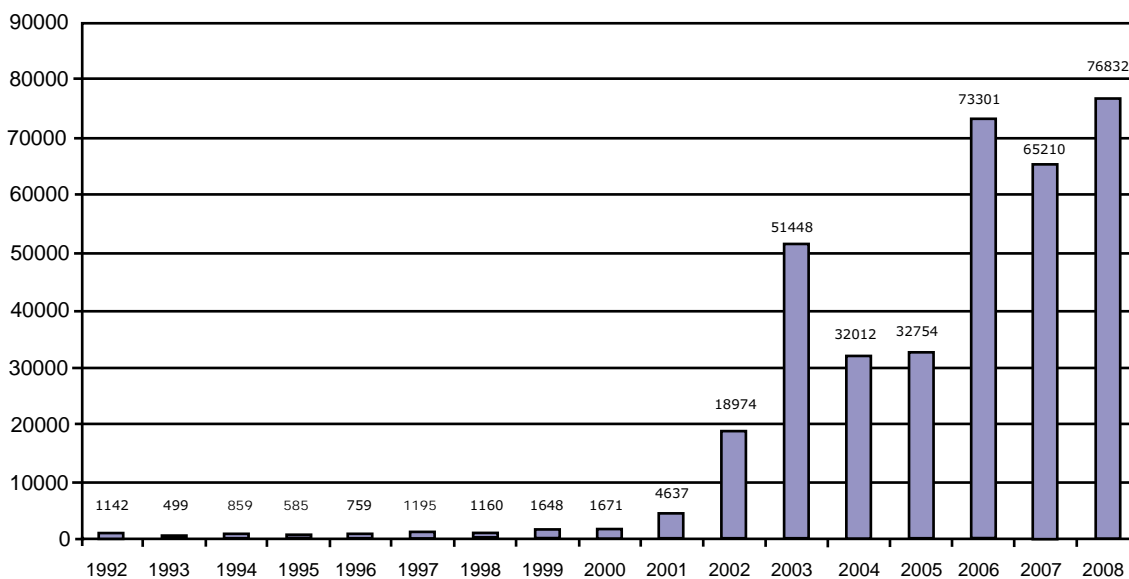


Рис. 1 Динамика норвежского рынка тепловых насосов воздух-воздух ^{®NOVAP}

а) – в России в 2007 г. этот показатель был 6 338 кВт·час/чел.

б) - ТВт·час – тераватт-час = 10¹² Ватт-час или 1 млрд кВт·час.

Появление к началу нынешнего тысячелетия НВТН заметно оживило процесс, а стремление к преобладанию этой категории в общей структуре норвежского рынка стало с тех пор традиционным. В таблице 4 приведена статистика падения спроса на ГТН.

На рисунке 2 (12) сопоставлены динамика рынка тепловых насосов Норвегии и динамика рынка европейского лидера в использовании тепловых насосов - Швеции. Широкое использование НВТН позволило Норвегии обеспечить европейское лидерство по этому показателю, а по абсолютным показателям - легко догнать Швецию с населением более чем в два раза большим.

Субсидии на установку тепловых насосов в Норвегии являются прерогативой местных властей, поощряющих в первую очередь установку высокоэффективного оборудования. Например, в коммуне Осло (13) для получения муниципального гранта на установку - в размере 300 NOK/

, необходимо, чтобы:

- тепловой насос должен быть инверторным;
- хладагентом теплового насоса должен быть R410A;
- тепловой насос должен быть установлен сертифицированными монтажниками.

Грант на установку НВТН воздух-вода начисляется на основании расчёта ожидаемой экономии энергии, предоставляемого дилером.

Таблица 4. Доля ГТН на норвежском рынке в 2000-х годах, NOVAP

Годы	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Продано								
ГТН, шт.	1073	1683	2445	2111	1494	2327	2492	3222
Всего ТН, шт.	6340	21300	55100	35390	35407	78532	71941	84712
Доля ГТН, %	16,9	7,9	4,4	6,0	4,2	3,0	3,5	3,8

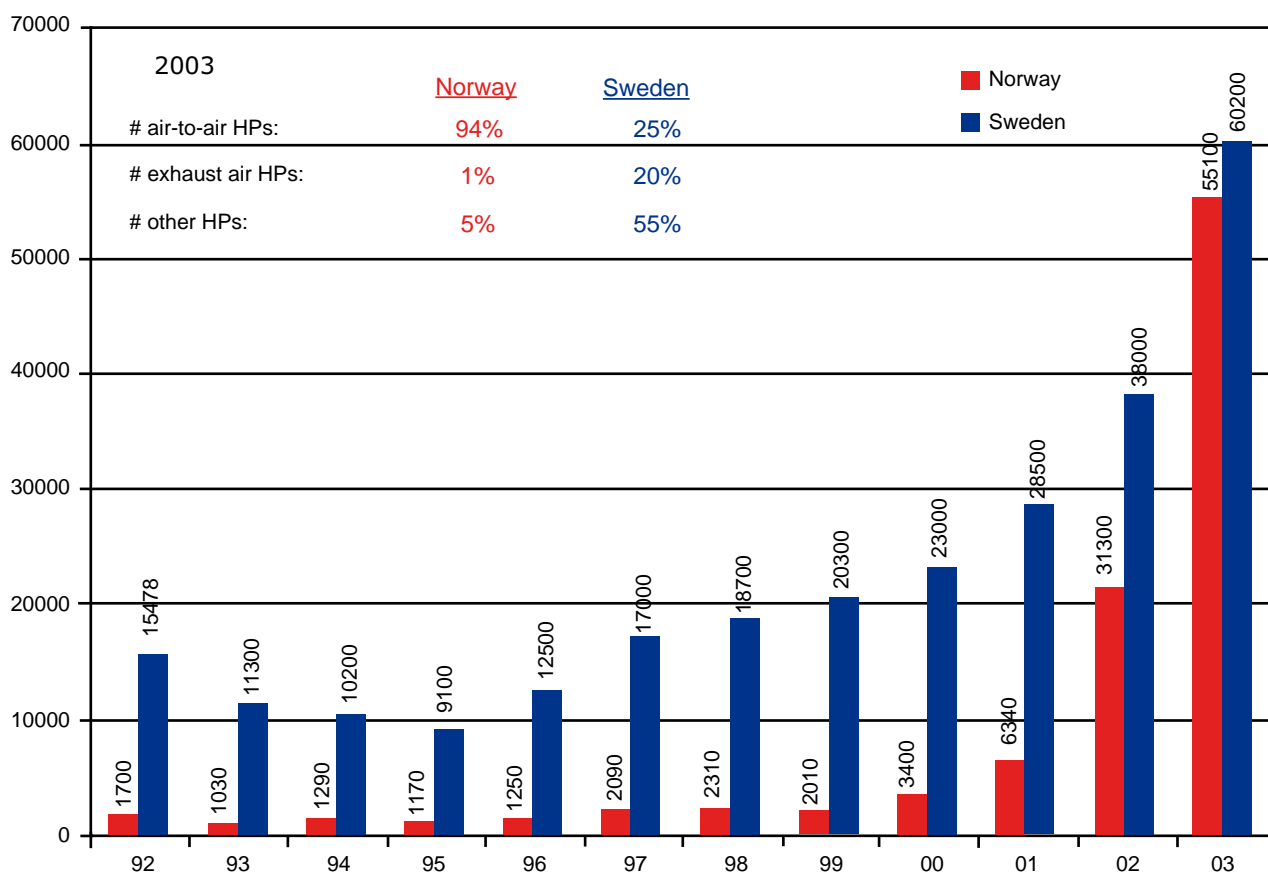


Рисунок 2. Данные Ассоциаций Тепловых Насосов Норвегии и Швеции

Сегодня очевидно, что в Северной Европе доля уменьшается – в Швеции в 2008 году она составляла уже 19 % (1). Логическим пределом процесса станет, по-видимому, соотношение, отвечающее общественной потребности текущего момента в крупных . К примеру, в США к 2009 строилось чуть больше 2 % (14). Трудно переоценить актуальность крупных и те поистине грандиозные перспективы, которые открываются перед ними в России. Для каждой страны здесь, очевидно, речь может идти о различных значениях, но вполне вероятно, что в случае Северных Стран это соотношение может оказаться на уровне Норвегии.

В 2008 году доля на норвежском рынке составляла около 4 %, но как бы скромно не выглядел этот показатель, за ним стоят достижения, заслуживающие безусловного внимания. Первый в Норвегии был установлен в 1978 году. Пробуждение общественного интереса к тепловым насосам, инициированное появлением , послужило в

2003 году началу правительственных акций, ожививших норвежский рынок – рисунок 3.

К 2010 году в стране с населением около пяти миллионов человек (в 2009 г. - 4,827 млн) насчитывается уже примерно 26 000 ГТН. Из них около 350 - крупные и очень крупные ГТН на коммерческих общественных объектах и многоквартирных жилых домах (15). В таблице 5 приведён рейтинг стран – лидеров в использовании ГТН (16).

Согласно этому рейтингу Норвегия – на четвёртом месте в мире по суммарной установленной тепловой мощности ГТН и по использованию геотермального тепла. Вклад ГТН 7,0 ТВт•час/год заметен даже на фоне рекордной выработки гидроэлектроэнергии (141 ТВт•час – табл. 3).

В таблице 6 приведены наиболее крупные норвежские системы ГТН, из которых две самые крупные – крупнейшие в Европе.

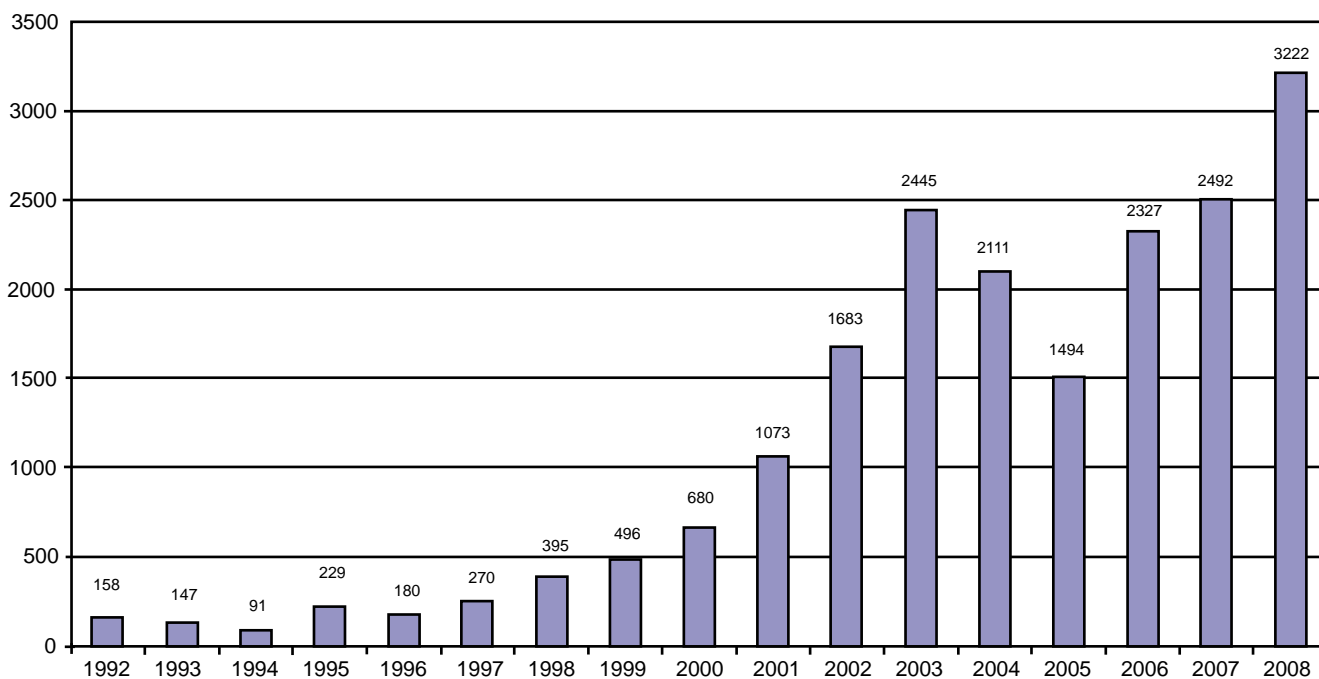


Рис. 3 Динамика норвежского рынка ГТН. 2003 год – субсидии ©NOVAP

Таблица 5. Использование ГТН в мире

Страна	Суммарная тепловая мощность ГТН, МВт	Годовое производство тепла, ГВт•час ^{с)} /год
США	12000	13200
Китай	5210	8060
Швеция	4460	12580
Норвегия	3300	7000
Германия	2230	2880
Нидерланды	1394	2890
Канада	1111	2360
Швейцария	1017	1830
Франция	1000	2800

с) - ГВт•час – гигавайт-час - 10⁹ Ватт•час = 1 млн кВт•час

Таблица 6. Наиболее крупные норвежские ГТН (17)

Проект	Количество скважин, шт	Глубина, м	Тепловая мощность, МВт	Дата постройки
Университетский госпитальный комплекс Akershus, Lørenskog	228 ^{d)}	200	8,0	2007
Деловой парк Nydalen, Oslo	180	200	6,0	2004
Стадион Ullevål, Oslo	120	150	4,0	2009
Здание почтового терминала, Lørenskog	90	200	4,0	2010
Офисный комплекс Alnafossen, Oslo	52	150	1,5	2004
Представительство IKEA, Slependen, Asker	86	200	1,2	2009
Представительство Ericsson, Asker	56	200	0,8	2001
Тарифы на э/э (2005): - для бытовых потребителей 0,0672 USD/кВт·час; - для промышленных - 0.0426 USD/кВт·час [®] IEA				

Общие параметры этих объектов таковы.

Деловой парк *Nydalen, Oslo*:

- отапливаемая площадь 180000 ²;
- установленная мощность центрального отопления - 6,0 ;
- кондиционирования - 9,5 ;
- объём сезонного аккумулятора тепла 120000 ³;
- срок окупаемости по отношению к электроэнергии - 5 .

Университетский госпиталь *Akershus, Lørenskog*:

- отапливаемая площадь 160000 ²;
- установленная мощность центрального отопления - 8,0 ;
- кондиционирования - 7,7 ;
- объём сезонного аккумулятора тепла 160000 ³;
- срок окупаемости по отношению к электроэнергии - 4,5 .

Система рассчитана на покрытие примерно 85 % потребности в тепле, а остальные 15 % - в пиковом режиме должны покрываться жидкотопливными и электрическими котлами (18). Оголовки скважин находятся в тоннеле, а на поверхности выращиваются зерновые культуры. Общая стоимость и системы сезонного аккумулирования тепла 19,5 USD.

Благодаря выверенной государственной стратегии Норвегия обеспечила себе достойное место как по использованию , так и среди лидеров по использованию . В России же, несмотря на провозглашённый курс на энергосбережение и на не менее значительный ресурс энергосбережения тепловыми насосами, чем у обсуждаемого сегодня экономичного освещения, пока не только нет никакой подобной стратегии, но и не сформулировано официального отношения к проблеме и возможности такого освоения.

В отличие от жителей тех стран, где к освоению тепловых насосов приступили ещё до появления , норвежские потребители оказались в более благоприятных условиях – максимальной свободы выбора. В результате норвежский рынок склады-

вался и развивался более естественно и избежал перегибов чрезмерной экспансии , а общество в целом – ситуации, в которой находится сейчас Россия. Помимо сходства климатических, природных и даже экономических факторов опыт Норвегии полезен России ещё и тем, что сегодня к услугам отечественного потенциального потребителя не менее широкий ассортиментный выбор, чем имелся у жителей Норвегии.

Если говорить о преимуществах использования уже приобретённого опыта для рационального освоения тепловых насосов в России, то это в первую очередь - использование для объектов бытового уровня и во вторую – для крупных коммерческих проектов. При этом важно понимать, что

Список литературы

1.
2009. 12
2.
- 10
3.
2009. 3.
4.
2010. 7.
5. http://www.sulpu.f/index.php?option=com_content&task=view&id=20&Itemid=114
6. <http://www.eheatgroup.com/> panasonic_

energy_saver.pdf

7. Boyd, Tonya L and Paul J. Lienau, *Geothermal Heat Pump Performance, Geothermal Resources Council 1995 Annual Meeting, Reno NV, 1995.*

8. http://www.techart.ru/files/publications/thsovet_4_15-16.pdf

9. <http://marketing.rbc.ru/research/562949979463580.shtml>

10.

//

11. *Energy in Norway 2008 - a brief annual presentation (2009 edition), 10.12.2009*

12. http://intraweb.stockton.edu/eyos/energy_studies/content/docs/FINAL_PRESENTATIONS/3A-4.pdf

13. <http://www.varmepumpeinfo.no/content/oslo-kommune>

14. <http://www.pmgco.com/LinkClick.aspx?fileticket=mv0xZrC8qil%3D&tabid=149>

15. Kirsti Midttømme, Inga Berre, Audun Hauge, Thor E. Musæus, Bjarni R. Kristjánsson. *Geothermal Energy - Country Update for Norway//Proceedings World Geothermal Congress 2010, Bali Indonesia, 25-29 April 2010.*

16. <http://www.slideshare.net/l/lund/23703132>

17. K. Midttømme, A. Hauge, R. S. Grini, J. Stene, H. Skarphagen. *UNDERGROUND THERMAL ENERGY STORAGE (UTES) WITH HEAT PUMPS IN NORWAY//Geology for Society, 2008. Special*

Publication, 11

18. J. Stene. *DESIGN AND APPLICATION OF AMMONIA HEAT PUMP SYSTEMS FOR HEATING AND COOLING OF NON-RESIDENTIAL BUILDINGS//8th IIR*

Gustav Lorentzen Conference on Natural Working Fluids. Paris: IIR., SEPTEMBER 7-10, 2008

Применение тепловых насосов в системе теплоснабжения промышленного предприятия и города

используя низкопотенциальные ВЭР, присутствующие почти на каждом предприятии. Актуальной является проблема эффективного использования абсорбционных тепловых насосов (АТН) и пароконденсационных (ПТН), успешно применяющихся в странах Европы, в США и Японии для покрытия нагрузок ГВС, отопления и кондиционирования.

Для теплонасосных установок (ТНУ) могут быть использованы различные источники энергии: низкопотенциальные ВЭР в виде пара и горячей воды, обратная сетевая вода систем теплоснабжения, техническая вода оборотного водоснабжения, уходящие газы котлов и технологических агрегатов, сточные воды, морская и речная вода, грунт и грунтовые воды и т.д. [1-4].

Основным условием для эффективного применения ТНУ является наличие низкопотенциального источника теплоты с температурой не менее 15 – 20°C, в качестве которого могут выступать вторичные энергоресурсы промышленных предприятий, теплота оборотных вод и теплота уходящих газов, теплота обратной линии.

ТНУ, подключенный к тепловой сети, позволит увеличить выработку тепловой энергии на ТЭЦ за счет снижения температуры обратной линии, сэкономить топливо за счет снижения объема вырабатываемой тепловой энергии или увеличить отпуск тепловой и электрической энергии на нужды города. Как показывает анализ наиболее эффективно ТНУ могли бы применяться при замене водогрейных электродкотлов. Современные тепловые насосы способны нагреть теплоноситель до 90°C, делая его пригодным для использования в системе местного отопления. Коэффициент трансформации мощных ПТН находится в диапазоне $\mu = 2.5 - 5$. Цель данной работы является определение областей эффективного применения АТН и ПТН в системе теплоснабжения промышленного предприятия и города.

«

Аннотация

Рассматриваются тепловые схемы использования низкопотенциальных ВЭР для теплоснабжения и холодоснабжения металлургического комбината, а также применения пароконденсационных тепловых насосов, работающих на обратной сетевой воде промышленных ТЭЦ, для теплоснабжения города. Показана энергетическая эффективность сочетания положительных характеристик абсорбционных и пароконденсационных тепловых насосов для холодо- и теплоснабжения промышленного предприятия и города.

Ключевые слова: абсорбционный тепловой насос, пароконденсационный тепловой насос, металлургический комбинат, низкопотенциальные ВЭР, хладагент, холодоснабжение, теплоснабжение

Актуальность и цель работы

Промышленные предприятия (металлургические комбинаты, предприятия нефтехимической и других энергоемких отраслей), являются крупными потребителями тепловой и электрической энергии и имеют собственную ТЭЦ. Часто не только само предприятие, но и находящиеся рядом жилые и общественные здания обеспечиваются теплом и электроэнергией с ее помощью. Административные здания предприятий и находящиеся рядом общественные здания нуждаются не только в указанных выше энергиях, но и в холоде на летний период.

Сложившаяся на сегодняшний день ситуация роста цен на энергоносители, вынуждает крупные предприятия повышать энергетическую эффективность производства. Снизить потребление энергетических ресурсов и затраты на их покупку можно,

Применение абсорбционных тепловых насосов

Основным потребителем энергии в ПТН является компрессор (см. рис. 1б). Снизить затраты на потребление электроэнергии может помочь абсорбционный тепловой насос. Абсорбционный тепловой насос помимо стандартных элементов (конденсатор, испаритель) обладает еще и абсорбером, насосом и регенератором. Дополнительно могут использоваться промежуточный теплообменник, ректификатор (см. рис. 1а). Принцип действия АТН основан на способности раствора абсорбента поглощать водяные пары, имеющие более низкую температуру, чем раствор [1-3].

АТН работают следующим образом: в трубное пространство испарителя 1 подается низкотемпературная вода, где она охлаждается за счёт кипе-

ния (испарения) воды в вакууме, стекающей в виде плёнки по межтрубному пространству. Образовавшийся при этом пар абсорбируется (поглощается) водным раствором бромистого лития, стекающим по межтрубному пространству абсорбера 3. При этом раствор бромистого лития нагревается, и для сохранения его абсорбирующей способности теплота абсорбции отводится водой, протекающей внутри труб абсорбера. Таким образом, происходит перенос тепла с низкотемпературного уровня в испарителе на более высокий в абсорбере. Поглощая водяной пар, раствор бромистого лития становится слабым – концентрация его снижается. Для регенерации слабый раствор через теплообменник 8 подается в генератор 6, где упаривается (концентрируется) за счёт тепла греющего источника (например, пара).

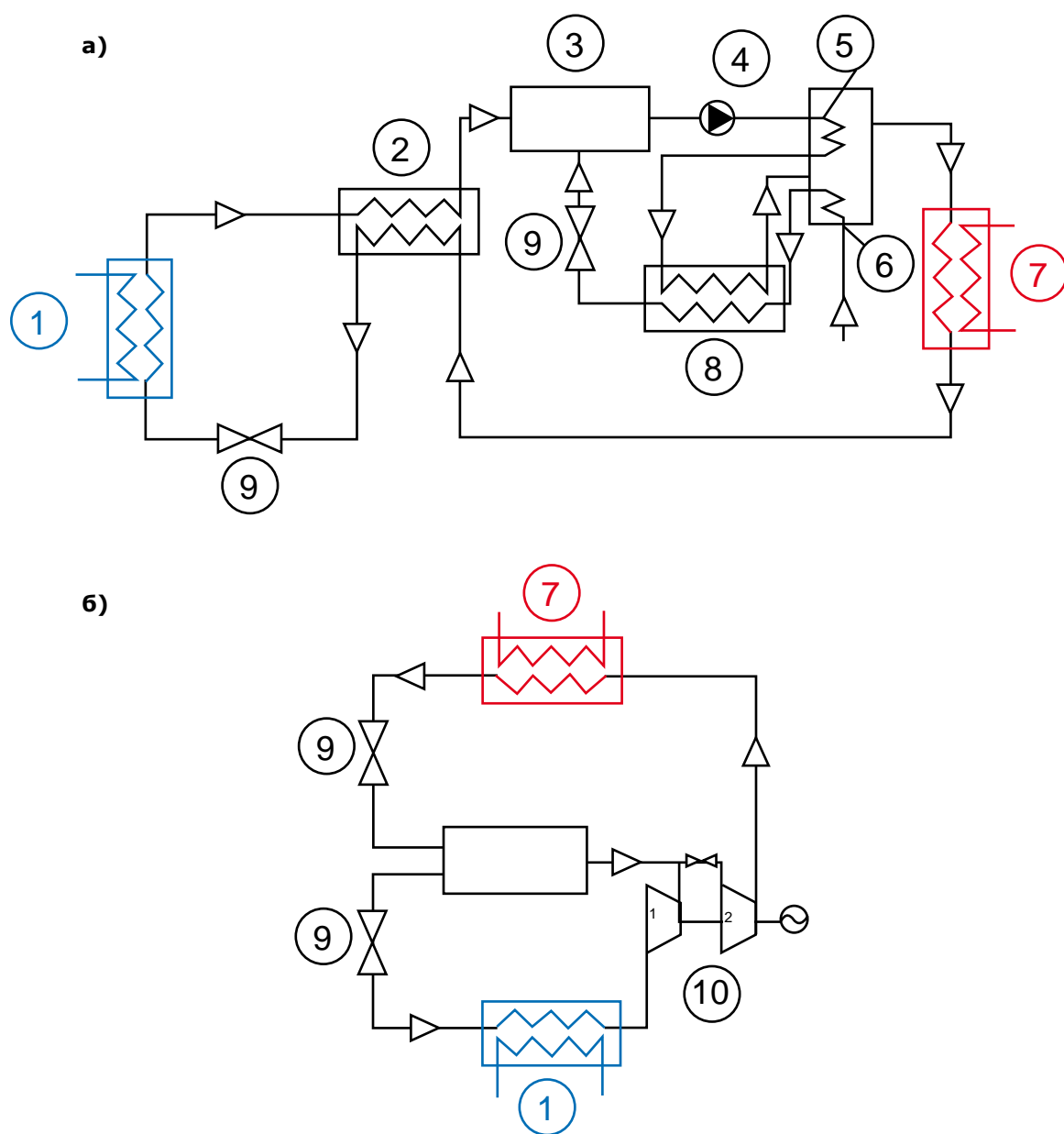


Рисунок 1. Схемы АТН (а) и ПТН (б): 1 - испаритель; 2 - промежуточный теплообменник; 3 - абсорбер; 4 - насос; 5 - ректификатор; 6 - генератор; 7 - конденсатор; 8 - жидкостной теплообменник; 9 - дроссельный клапан; 10 - компрессор.

Крепкий раствор через теплообменник 2 подаётся в абсорбер. Полученный в генераторе водяной пар направляется в межтрубное пространство конденсатора 7, конденсируется, конденсат поступает через дроссель 9 в испаритель 1. Вода подаётся последовательно в абсорбер и конденсатор, где нагревается до необходимой температуры и отдаётся потребителю. Все процессы в машине протекают под вакуумом.

Поскольку смесь жидкого абсорбента и хладагента практически несжимаема, затраты мощности на насос пренебрежимо малы (по сравнению с ПТН) и источником первичной энергии является только теплота, подводимая к генератору пара, который всегда имеет максимальную температуру цикла. Теплота, выделившаяся в абсорбере, суммируется с теплом от конденсатора, поэтому коэффициент трансформации тепла цикла всегда больше единицы.

Рассмотрим применение АТН на примере коксохимического производства

Коксование осуществляется в высокопроизводительных коксовых печах, обогреваемых низкокалорийным (доменным) или высококалорийным (коксовым и др.) газом. Сырьём для коксования служат смеси специальных сортов каменных углей, способных спекаться.

Образующийся при коксовании сырой газ несёт с собой (в г/м³): паров воды 250—450, паров смолы 100—120, бензольных углеводородов 30—40, аммиака — 8—13, сероводорода 5—30. Горячий (700—800°C) газ охлаждают в газосборнике путём распыления в нём воды (до 80—90°C) и затем в первичных газовых холодильниках ПГХ (до 25—35°C). Конденсат разделяют на аммиачную воду и каменноугольную смолу. Охлажденный газ засасывается мощными газодувками и нагнетается в систему улавливания и очистки коксового газа.

Чаще всего, находящиеся в эксплуатации системы охлаждения и транспортировки газа далеки от совершенства. Из-за несоблюдения температурного режима в трубопроводах образуется налет различных отложений, которые зауживают площадь проходного сечения трубопровода, что ведет к увеличению потребляемой мощности на нагнетателях. Чтобы этого не допустить фактическая температура коксового газа на выходе из ПГХ не должна превышать установленную регламентом (порядка 30—35°C). Кроме увеличения потребления электроэнергии, увеличивается расход пара на пропарку, увеличиваются затраты на подпитку технической воды для поддержания температуры воды оборотного цикла ПГХ, увеличиваются потери смолистых веществ уходящих в кислую смолку, увеличение потерь H₂SO₄, бензольных углеводородов, каустической соды.

В Германии температура коксового газа за ПГХ по техническим требованиям составляет 25°C. Т.к. чем ниже эта температура, тем чище коксовый газ.

В реальности на некоторых отечественных металлургических комбинатах температура коксового газа в зимний период за ПГХ превышала 40°C.

При авариях на ПГХ температура коксового газа за ними достигала 55°C. Это приводило ко многим негативным последствиям: перерасходу электроэнергии на нагнетателях коксового газа, существенным потерям бензола и смолистых веществ, отложению нафталина в трубопроводах коксового газа всего металлургического комбината, засорению горелок энергетических и технологических агрегатов и т.д.. Экономический ущерб от этого составляет десятки и сотни миллионов рублей.

Оборотные циклы водоснабжения также не обеспечивают требуемого охлаждения оборотной воды для ПГХ. Температура оборотной охлаждающей воды от градирен в летний период достигает 30—35°C при норме 25°C.

Абсорбционные ТН чаще всего используют смесь вода-бромистый литий или вода-аммиак. Для работы установки требуется греющий пар, охлаждающая вода и электроэнергия. На коксохимическом предприятии, где аммиак является продуктом производства, предпочтительнее рассматривать смесь вода-аммиак. Но ее использование имеет некоторые недостатки: аммиак дает пар слишком высокого давления, пары аммиака токсичны, аммиак вызывает коррозию меди.

На основе проведенных расчетов предлагается установить 2 бромистолитиевых АТН типа АБТН-3000П [3,4] (ООО «Теплосибмаш», Новосибирск) холодопроизводительностью по 3.2 МВт летом для обеспечения заданной температуры оборотной воды и коксового газа в летний период, а в зимний период они могут работать в системе теплоснабжения комбината с теплопроизводительностью по 8.3 МВт (см. табл. 1). Источником энергии для АТН является пар ВЭР КХП в количестве по 7.4 т/ч давлением 0.5 МПа, значительная часть которого на сегодняшний момент используется неэффективно, а в летний период большей частью теряется. Коэффициент трансформации тепла АТН, определяемый по отношению произведенного тепла к затраченному теплу пара, равен

$$\chi = Q_{\square} / Q_{\square} \quad \text{III}$$

Холодильный коэффициент АТН равен

$$\varepsilon = Q_{\square} / Q_{\square} \quad \text{III}$$

Таблица 1. Характеристики теплового насоса с паровым обогревом

Тепловой насос	Тепловая мощность / утилизируемая теплота, кВт	Расход тепла: - пара, кг/ч;	Расход воды, м ³ /ч : нагреваемой/ охлаждаемой	Расход электроэнергии, кВт
АБТН-3000П	8300/3200	7400	225/550	14

Номинальные параметры теплоносителей:
- температуры, вход/выход: охлаждаемая вода - 30/25°C; нагреваемая вода - 40/70°C.

Применение парокомпрессионных тепловых насосов

В статье [5] рассматривается возможность применения тепловых насосов, использующих теплоту обратной сетевой воды в непосредственной близости от потребителей (на ЦТП, пиковой котельной и т.д.), которая возвращается на ТЭЦ из системы централизованного теплоснабжения.

Одним из важных достоинств такой тепловой схемы является снижение температуры обратной воды, что позволит повысить комбинированную выработку электроэнергии на ТЭЦ на тепловом потреблении. Это тем более актуально, что температура обратной сетевой воды постоянно завышается, чему много разных причин, и не только технических. В двух таких разных городах, как Краснодар на юге и Красноярск на северо-востоке, было отмечено превышение температура воды в обратной линии систем теплоснабжения в зимний период над нормативной по тепловому графику на 5-8 °С.

Предлагается использовать двухступенчатый ПТН большой мощности [6] (см. рис. 16), расположенный в районе города с возросшей тепловой нагрузкой, на обратной сетевой воде ТЭЦ металлургического комбината.

Был проведен расчет теплового насоса на тепле обратной сетевой воды. Принято, что температура хладагента в конденсаторе равна 90°С, а в испарителе 40°С. Часть сетевой воды, поступающая из обратного трубопровода системы теплоснабжения, направляется в испаритель, где охлаждается с 58 до 46°С и затем возвращается на ТЭЦ. Вода из обратной линии внутреннего контура системы отопления локального потребителя, направляется в конденсатор теплового насоса и нагревается с 58 до 88°С для возврата потребителю.

В качестве рабочего тела в тепловом насосе используется хладагент R-134a (1,1,1,2-тетрафторэтан CH₂F-CF₃) с температурой 101.08°С и давлением 40.603 бар в критической точке, не оказывающий влияния на озоновый слой.

Занижение температуры обратной линии не значительно. А если учесть, что часто эта температура завышена, установку ПТН на обратной линии выступает дополнительным способом защиты от перегрева обратной линии и ухода в аварийный режим котла.

На рис. 2 представлена РН-диаграмма тепловых процессов, происходящих при работе теплового насоса на обратной сетевой воде.

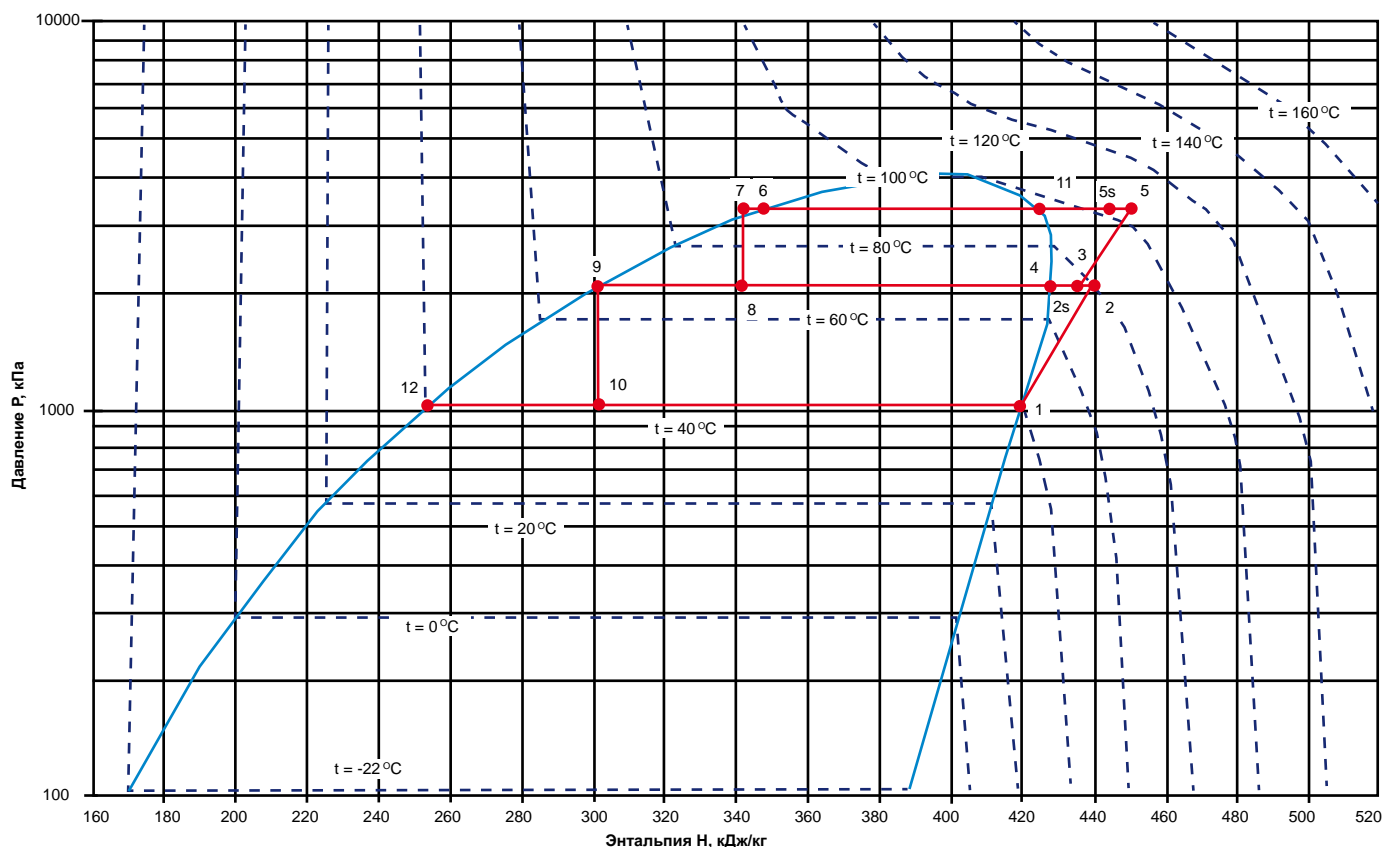


Рисунок 2. РН-диаграмма тепловых процессов работы двухступенчатого теплового насоса на хладагенте R-134a на обратной сетевой воде

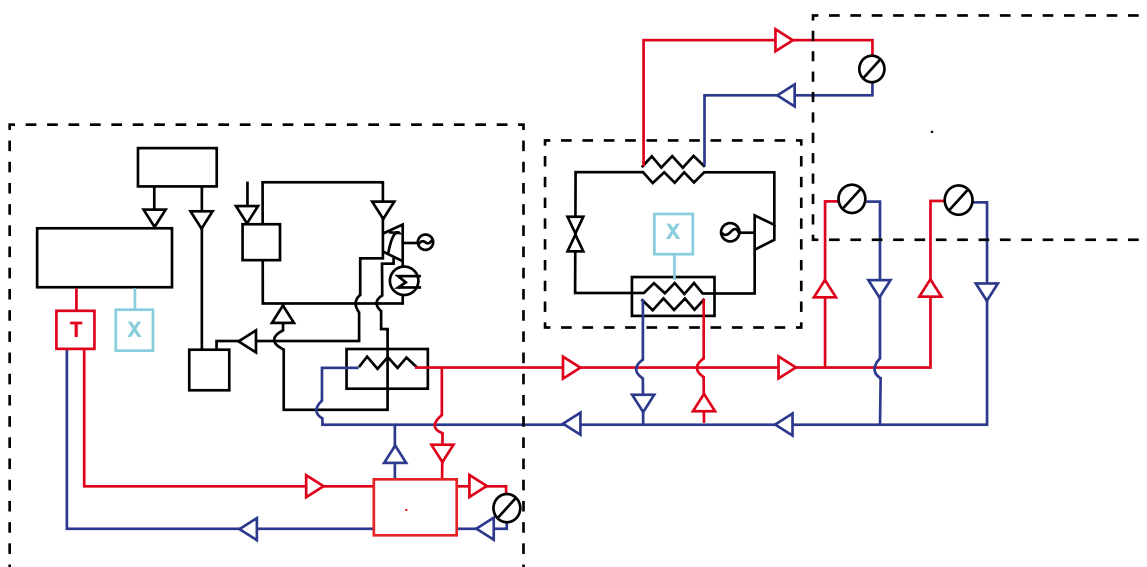


Рисунок 3. Применение тепловых насосов в системе теплоснабжения металлургического комбината и города

При тепловой мощности конденсатора $Q_{\text{конд}} = 17000$ кВт потребление электрической энергии на привод компрессора составит $N_{\text{э}} = 4050$ кВт, а коэффициент трансформации тепла –

$$x = Q / N_{\text{э}}$$

В летний период тепловой насос может быть отключен от обратной сетевой воды и вырабатывать 10000 – 12000 кВт холода для систем кондиционирования административных зданий, торговых и бизнес-центров, расположенных в радиусе до 1 км от ПТН, а также покрывать нагрузку ГВС. Холодильный коэффициент ПТН при этом будет составлять

$$\varepsilon = Q_{\text{о}} / N_{\text{э}}$$

При определении мест для установки и наиболее эффективной работы тепловых насосов в системе централизованного теплоснабжения необходимо определить приоритетную шкалу их энергетической и экономической эффективности. Тепловые насосы должны в первую очередь замещать электрические котлы и котлы на органическом топливе и не снижать комбинированную выработку электроэнергии ТЭЦ на тепловом потреблении. Комбинированная выработка тепловой и электрической энергии на ТЭЦ будет больше, если большая часть пара в турбинах ТЭЦ срабатывает до давления теплофикационного отбора.

Если возрастает доля пара в турбинах ТЭЦ, которая срабатывает до давления теплофикационного отбора (0.08-0.25МПа) и после этого направляется на нагрев воды для системы теплоснабжения (с 58 до 90°C), то при этом возрастает комбинированная выработка электрической и тепловой энергии. В

этом случае уменьшается конденсационная выработка электроэнергии, т.к. уменьшается доля пара, которая срабатывает до давления в конденсаторе (0.004МПа), а теплота пара в конденсаторе теряется в окружающую среду. В случае установки теплового насоса у потребителя тепловой энергии, который использует теплоту обратной сетевой воды, то как было показано ранее, температура обратной сетевой воды снизится (с 58 до 46°C). Следовательно, возрастет комбинированная выработка в турбинах ТЭЦ при направлении пара в теплофикационный отбор на нагрев сетевой воды и уменьшении расхода пара в конденсатор.

Часто противопоставляют АТН и ПТН [3], пытаюсь определить, какой из них лучше. Эффективность каждого из них существенно зависит от множества противоречивых факторов (наличие низкопотенциальных ВЭР, стоимости электрической и тепловой энергии, перепада температур и т.д.). По нашему мнению их нужно не противопоставлять, а использовать лучшие качества каждого из них, и находить такие комплексные решения, которые позволили бы получить максимальную выгоду от их совместного использования (см. рис. 3).

Резюмируя, хочется заметить, что срок службы ПТН и АТН составляет 20-25 лет, а срок окупаемости около 5-7 даже при больших капитальных затратах. ТНУ не сравнимы по своей производительности с ТЭЦ, но способны вырабатывать тепло и холод с помощью низкопотенциальных источников, энергия которых часто не используется вовсе.

Выводы

1. Применение абсорбционных тепловых насосов наиболее эффективно на промышленных предприятиях с большим количеством низкопотенциальных ВЭР. Зимой коэффициент трансформации тепла АТН с паровым обогревом составляет $\mu T = 1.6 - 1.8$. Летом холодильный коэффициент того же АТН составляет $\epsilon X = 0.6 - 0.7$.

2. Применение парокомпрессионных тепловых насосов наиболее эффективно вблизи наиболее крупных городских потребителей тепла на обратной сетевой воде ТЭЦ и холода (жилые и административные здания, новые торговые и бизнес-центры).

3. Расчеты показывают, что парокомпрессионные тепловые насосы могут обеспечить нагрев горячей воды до $85 - 90$ °С и иметь коэффициент трансформации тепла $\mu = 4.0 - 5.0$ на обратной сетевой воде в зависимости от температуры хладагента в испарителе.

Литература

1. Соколов Е.Я., Бродянский В.М. Энергетические основы трансформации тепла и процессов охлаждения. – М.: Энергоиздат, 1981. – 320 с.

2. Горшков В.Г. Тепловые насосы. Аналитический обзор // Справочник промышленного оборудования. 2004, сентябрь-октябрь №2. С. 47-80.

3. Огуречников Л.А. Сравнительный анализ парокомпрессионных и абсорбционных тепловых насосов // Холодильная техника. – 1996. – №8. – С. 8 – 9.

4. Быков А.В., Калнинь И.М., Крузе А.С. Холодильные машины и тепловые насосы. М.: Агропромиздат, 1988. – 287 с.

5. Николаев Ю.Е., Бакшеев А.Ю. Определение эффективности тепловых насосов, использующих теплоту обратной сетевой воды ТЭЦ // Промышленная энергетика. – 2007. – № 9. – С.14-17.

6. Bailer P., Pietrucha U. District heating and district cooling with large centrifugal chiller – heat pumps // Proc. 10th International Symposium on District Heating and Cooling. 3-5 September 2006, Hanover, Germany. – 8 p.



Энергосервисная компания
«Экологические Системы»

www.ecosys.com.ua

Свойства воды

Температура t (°C)	Абс. Давление p (kN/m ²)	Плотность ρ (kg/m ³)	Удельный объем (m ³ /kgx10 ⁻³)	Теплоемкость C _p (kJ/kgK)	Энтропия e (kJ/kgK)	Динамическая вязкость (Centipose)	Кинематическая вязкость νx10 ⁶ (m ² /s)	Коэффициент расширения βx10 ³ (1/K)	Энтальпия (kJ/kg)	Число Прандтля
0	0,6	1000	100	4,217	0	1,78	1,792	-0,07	0	13,67
5	0,9	1000	100	4,204	0,075	1,52			21,0	
10	1,2	1000	100	4,193	0,150	1,31	1,304	0,088	41,9	9,47
15	1,7	999	100	4,186	0,223	1,14			62,9	
20	2,3	998	100	4,182	0,296	1,00	1,004	0,207	83,8	7,01
25	3,2	997	100	4,181	0,367	0,890			104,8	
30	4,3	996	100	4,179	0,438	0,798	0,801	0,303	125,7	5,43
35	5,6	994	101	4,178	0,505	0,719			146,7	
40	7,7	991	101	4,179	0,581	0,653	0,658	0,385	167,6	4,34
45	9,6	990	101	4,181	0,637	0,596			188,6	
50	12,5	988	101	4,182	0,707	0,547	0,553	0,457	209,6	3,56
55	15,7	986	101	4,183	0,767	0,504			230,5	
60	20,0	980	102	4,185	0,832	0,467	0,474	0,523	251,5	2,99
65	25,0	979	102	4,188	0,893	0,434			272,4	
70	31,3	978	102	4,190	0,966	0,404	0,413	0,585	293,4	2,56
75	38,6	975	103	4,194	1,016	0,378			314,3	
80	47,5	971	103	4,197	1,076	0,355	0,365	0,643	335,3	2,23
85	57,8	969	103	4,203	1,134	0,334			356,2	
90	70,0	962	104	4,205	1,192	0,314	0,326	0,698	377,2	1,96
95	84,5	962	104	4,213	1,250	0,297			398,1	
100	101,33	962	104	4,216	1,307	0,281	0,295	0,752	419,1	1,75
105	121	955	105	4,226	1,382	0,267			440,2	
110	143	951	105	4,233	1,418	0,253			461,3	
115	169	947	106	4,240	1,473	0,241			482,5	
120	199	943	106	4,240	1,527	0,230	0,249	0,860	503,7	1,45
125	228	939	106	4,254	1,565	0,221			524,3	
130	270	935	107	4,270	1,635	0,212			546,3	
135	313	931	107	4,280	1,687	0,204			567,7	
140	361	926	108	4,290	1,739	0,196	0,215	0,975	588,7	1,25
145	416	922	108	4,300	1,790	0,190			610,0	
150	477	918	109	4,310	1,842	0,185			631,8	
155	543	912	110	4,335	1,892	0,180			653,8	
160	618	907	110	4,350	1,942	0,174	0,189	1,098	674,5	1,09
165	701	902	111	4,364	1,992	0,169			697,3	
170	792	897	111	4,380	2,041	0,163			718,1	
175	890	893	112	4,389	2,090	0,158			739,8	
180	1000	887	113	4,420	2,138	0,153	0,170	1,233	763,1	0,98
185	1120	882	113	4,444	2,187	0,149			785,3	
190	1260	876	114	4,460	2,236	0,145			807,5	
195	1400	870	115	4,404	2,282	0,141			829,9	
200	1550	863	116	4,497	2,329	0,138	0,158	1,392	851,7	0,92
220							0,149	1,597		0,88
225	2550	834	120	4,648	2,569	0,121			966,8	
240							0,142	1,862		0,87
250	3990	800	125	4,867	2,797	0,110			1087	
260							0,137	2,21		0,87
275	5950	756	132	5,202	3,022	0,0972			1211	
300	8600	714	140	5,769	3,256	0,0897			1345	
325	12130	654	153	6,861	3,501	0,0790			1494	
350	16540	575	174	10,10	3,781	0,0648			1672	
360	18680	526	190	14,60	3,921	0,0582			1764	

Адрес: « »
69035 . , .
,11
« »

Тел./факс: (+38 061) 224 - 66 - 86

e-mail: tn@esco.co.ua

Веб: tn.esco.co.ua

Форма заявки

e-mail: tn@esco.co.ua

(+38 061) 224 - 66 - 86,

: , 69035, . , , 11, « »

Купон подписчика	
()	
E-mail	

На отдельные номера

Варианты издания	Отметить	Номер	Год выхода	Кол-во	Стоимость ед.			Итого
					грн.	руб.	\$	
	<input type="checkbox"/>	—			260	910	35	
	<input type="checkbox"/>	—			70	250	10	
	<input type="checkbox"/>	—			260	910	35	
	<input type="checkbox"/>	—			70	250	10	
	<input type="checkbox"/>	—			260	910	35	
	<input type="checkbox"/>	—			70	250	10	

Полугодовая и годовая подписка

Версии журнала	Отметить вариант	Стоимость		
		Грн.	Руб.	\$
:				
• 6 (3)		780	2750	100
• 12 (6)		1560	5500	200
:				
• 6 (3)		210	740	28
• 12 (6)		420	1470	55

* -



РЕШЕНИЯ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ И КОРПОРАЦИЙ

-
-
-
-
-

РЕШЕНИЯ ДЛЯ МУНИЦИПАЛИТЕТОВ И КОММУНАЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

-
-
-
-
-

ПОДГОТОВКА ПРОЕКТОВ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ К ФИНАНСИРОВАНИЮ

ПРОМЫШЛЕННОСТЬ:

-
-
-
-
-

МУНИЦИПАЛИТЕТЫ:

-
-
-
-
-

ООО ЭСКО «Экологические Системы»

Ук и г о о е М ко ского
тел тел кс
есо соти Е т есо

Решения для промышленных предприятий и корпораций

- Модернизация систем энергоснабжения, в том числе систем электроснабжения, тепло- и холодоснабжения, обратного водоснабжения, пневмоснабжения
- Проектирование теплонаносных станций
- Разработка энергетических планов и стратегий повышения энергоэффективности предприятия
- Разработка и внедрение системы промышленного энергоменеджмента
-

Решения для муниципалитетов и коммунальных предприятий

- Энергоаудит предприятий тепловых сетей
- Разработка муниципальных энергетических планов и стратегий модернизации систем энергоснабжения городов и территорий
- Разработка энерго- и экологоэффективных схем теплоснабжения и водоснабжения городов и населённых пунктов
- Разработка системы энергоменеджмента для муниципалитетов
- Разработка инвестиционных проектов термо-модернизации жилых и бюджетных зданий

Подготовка проектов энергоэффективности к финансированию

Украина, 69035, г. Запорожье,
проспект Маяковского, 11,
тел. (+380 61) 224 68 12,
тел./факс (+380 61) 224 66 86,
e-mail: ecosys@zp.ukrtel.net
www.ecosys.com.ua



Энергосервисная компания
«Экологические Системы»