

# Сорбционные тепловые насосы для Республики Беларусь

Окончание, начало в №4, 2004 г.

## Практическое применение тепловых насосов на твердых сорбентах

Для обогрева одноквартирных домов в Республике Беларусь необходимы тепловые насосы, обеспечивающие не менее 1,5 Гвт·час энергии в год. Следовательно, для небольшого района необходимо наличие около 100 Гвт·час энергии в год. Если в маленьких тепловых насосах, предназначенных для индивидуального отопления, можно использовать теплоту окружающего, или отходящего воздуха, грунта и грунтовых вод, то промышленные тепловые насосы нуждаются в мощном низкотемпературном источнике энергии (водные бассейны, реки, озера, геотермальные воды и т.д.).

Рассмотрим возможности применения тепловых насосов для обогрева домов индивидуального пользования. Для таких тепловых насосов имеются следующие источники низкопотенциальной энергии: атмосферный (либо отработанный) воздух, река, грунт, грунтовые воды, скальные породы. Существуют две разновидности ( $Q = 3-7$  кВт) тепловых насосов индивидуального пользования: для нагрева воды (водяные радиаторы в доме, аналог централизованного водяного отопления); для нагрева воздуха в комнате (американский вариант отопления). Тепловой насос, предназначенный для обогрева воздуха (рис. 2), имеет меньшую мощность и часто используется как реверсивный (позволяет вырабатывать теплоту зимой и холод летом). Приблизительная стоимость такого насоса составляет 3000-5000 долларов США при его мощности 3-5 квт.

Особый интерес представляют насосы, в которых в качестве низкотемпературного источника энергии используется энергия грунта/грунтовых вод. Низкотемпературная часть теплового насоса используется для генерации холода в холодильнике (овощехранилище и т.д.), высокотемпературная часть теплового насоса используется для подогрева газа до и после турбодетандера (повышения КПД турбины). Газ высокого давления поступает в теплообменник (пар-газ), средой для нагрева сорбента в котором является пар рабочего агента теплового насоса. Тепловой насос повышает уровень температуры метана перед его поступлением в детандер. После расширения в детандере подогретый с помо-

щью теплового насоса газ направляется к газовым горелкам, а механическая работа, полученная в детандере, преобразуется в электрическую энергию в электрогенераторе. Применение детандер-генераторных установок в сочетании с тепловыми насосами позволяет получать дополнительную электроэнергию плюс использовать холод теплового насоса и детандера для организации хранения продуктов питания либо охлаждения природного газа с целью его дальнейшего ожижения и хранения в жидком виде. Для практики большой интерес представляет применение ресорбционных тепловых насосов, в которых теплообмен в высокотемпературной и низкотемпературной частях насоса происходит в газовой фазе. Название «ресорбционный тепловой насос» связано с процессом десорбции рабочего тела (аммиака) из низкотемпературного адсорбера под воздействием более высокого потенциала высокотемпературного адсорбера. В таких тепловых насосах отсутствует испаритель и конденсатор. Их роль выполняют низкотемпературный адсорбер и высокотемпературный адсорбер. Количество теплоносителя в насосе ограничено с тем, чтобы был насыщен теплоносителем только один из адсорберов, теплоноситель (аммиак) находится постоянно в перегретом состоянии, т.е. его давление находится далеко от линии насыщения. Теплоноситель перемещается из одного адсорбера в другой под действием перепада давления, вызванного перепадом температуры (потенциала сорбции). На рис. 3 показана схема такого ресорбционного теплового насоса [5]. В тепловом насосе (рис.3) низкотемпературный адсорбер №1 наполнен активированным углеволокном, пропитанным  $BaCl_2$ . Высокотемпературный адсорбер №2 наполнен активированным углеволокном, пропитанным  $NiCl_2$  — более сильным сорбентом по сравнению с  $BaCl_2$ . Количество аммиака в тепловом насосе таково, чтобы им можно насытить один из адсорберов (адсорбер №2), в то время как более слабый адсорбер №1 при комнатной температуре находится в ненасыщенном состоянии и готов сорбировать пары аммиака. При нагреве адсорбера №2 происходит десорбция аммиака с поглощением теплоты. Пары аммиака попадают в адсорбер №1, где сорбируются сорбентом с выделением теплоты в окружающую среду (аналог конденсатора). При дальнейшем охлаждении адсорбера №2 пары аммиака отбираются более сильным его сорбентом ( $NiCl_2$ ) и в адсорбере №1 происходит десорбция паров с поглощением теплоты из окружающей среды (холодильный эффект, подобный действию испарителя обычного теплового насоса).

Данный принцип работы характерен и для водородных тепловых насосов, в которых в качестве сорбента использу-

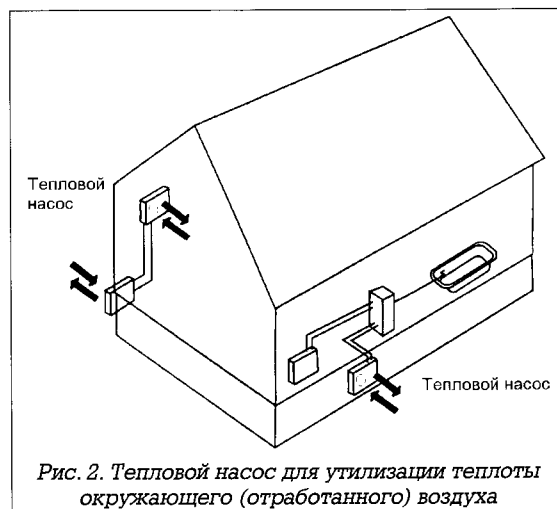


Рис. 2. Тепловой насос для утилизации теплоты окружающего (отработанного) воздуха

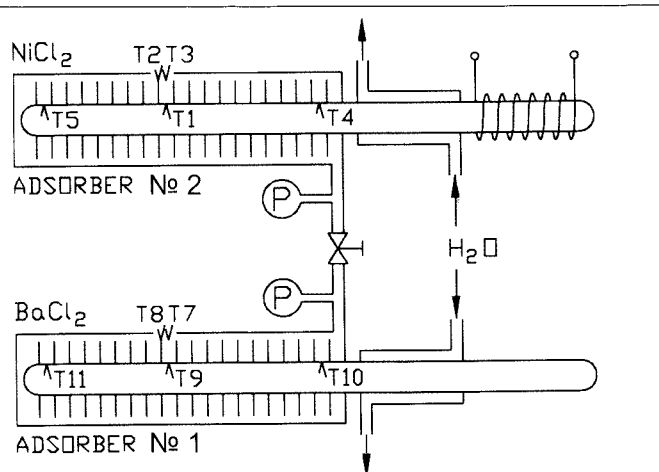


Рис. 3. Ресорбционный (химический) тепловой насос с теплообменниками на тепловых трубах.

Низкотемпературный адсорбер №1 — аналог конденсатора.  
Высокотемпературный адсорбер №2 — аналог испарителя

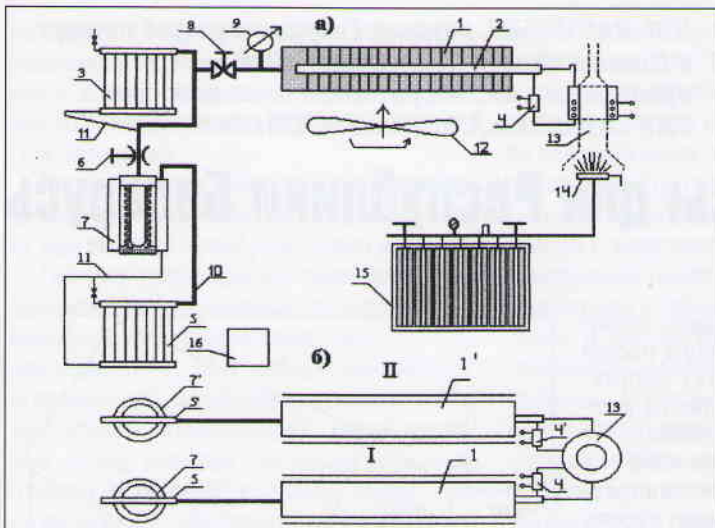


Рис. 4. Схема сорбционного теплового насоса мощностью 3 кВт для нагрева воздуха и охлаждения воды. Источник нагрева адсорберов – газовая горелка:

а) вид сбоку (1 – адсорбер, 2 – тепловая труба, 3 – конденсатор, 4 – управляемый клапан, 5 – «спагетти» тепловая панель, 6 – дроссель, 7 – испаритель, 8 – регулируемый клапан, 9 – манометр, газовый канал, 11 – жидкостный канал, 12 – вентилятор, 13 – газоход, 14 – газовая горелка); б) вид сверху (I, II – адсорберы)

ются металлгидриды, например  $\text{LaNi}_4$ ,  $\text{AlO}_{.52}$ ,  $\text{Mn}_{0.37}$ ,  $\text{Ti}_{0.99}$ ,  $\text{Zr}_{0.01}$ ,  $\text{V}_{0.43}$ ,  $\text{Fe}_{0.09}$ ,  $\text{Cr}_{0.05}$ ,  $\text{Mn}_{1.5}$  и др.

Большой комплекс работ по разработке сорбционных машин выполнен с 1991 г. в лаборатории пористых сред Института тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАН Беларуси. Особенностями выполненных работ являются применение новых сорбентов на основе активированного волокнистого угольного материала «Бусофит» и использование для нагрева и охлаждения адсорберов тепловых труб и термосифонов. Тепловые трубы были выбраны как теплопередающие устройства, способные транспортировать большие тепловые потоки при малых температурных перепадах и обеспечить быстрый нагрев сорбента в адсорбере при нестационарных режимах благодаря высокой интенсивности теплообмена внутри тепловой трубы ( $10^3 - 10^5$  Вт/м К). Они лег-

ко монтируются внутри сорбента и имеют малую массу. Экономически целесообразно для создания широкого спектра тепловых насосов различной мощности применять унифицированные модули по 0,5-5 кВт, содержащие два адсорбера.

В настоящее время в ИТМО НАН Беларуси создан такой модуль — аммиачный сорбционный тепловой насос, в котором в качестве сорбента используется сложный компаунд («Бусофит»/соли металлов). Данный насос мощностью 3 кВт способен нагревать воздух до  $90^\circ\text{C}$ , при этом существует возможность охлаждения воды до температуры  $3-5^\circ\text{C}$ . На рис. 4 показана схема теплового насоса.

Помимо тепловых насосов, в которых используется процесс нагрева/охлаждения, актуально применение тепловых трансформаторов, предназначенных для повышения температуры рабочей среды. Тепловые трансформаторы имеют более низкий коэффициент эффективности COP, однако с их помощью можно поднять потенциал низкотемпературного источника теплоты (например, вода с температурой  $20-30^\circ\text{C}$ ) до температуры жидкости или газа на выходе теплового трансформатора  $80-90^\circ\text{C}$ .

На рис. 5 приведена схема и диаграмма Клаузиуса-Клапейрона высокотемпературного химического теплового трансформатора, в котором в качестве промежуточного теплоносителя используется углекислота. Тепловой трансформатор состоит из CaO реактора и  $\text{PbO}$  реактора. Тепловой трансформатор содержит:

- сосуд для хранения высокотемпературной энергии;
- сосуд для утилизации высокотемпературной энергии.

Коэффициент эффективности COP такого теплового трансформатора близок к 1. Температура газа на входе трансформатора равна 700 К, а на выходе теплового трансформатора — 1400 К при рабочем давлении внутри трансформатора около 1 атмосферы.

Большой интерес для охлаждения компонентов электроники представляют миниатюрные сорбционные тепловые насосы. Такие мини-насосы в первую очередь актуальны для охлаждения микропроцессоров, мини-компьютеров, а также электронного привода на транспорте. Существующая в настоящее время технология производства чипов в электронных устройствах может быть полезна для изготовления теплообменников с мини-каналами, выполненными непосредственно в кремниевых пластинах методом вытравливания. В таких насосах сорбционные блоки должны обладать очень высокой сорбционной емкостью при минимальных размерах. Миниатюрные тепловые насосы крайне необходимы и для их применения в медицине.

## Заключение

Применение сорбционных тепловых насосов является актуальным для Республики Беларусь. Они экологически чисты, дают возможность экономить до 30% топлива по сравнению с обычными бойлерными установками и используют тепло низкотемпературных источников — таких, как воздух (наружный и отходящий), вода, грунт и скальные породы, — для получения тепла высокого потенциала (горячая вода или нагретый воздух). Сорбционные тепловые насосы позволяют получать холод для систем кондиционирования, охлаждения продуктов питания и т.д. Используемые в сорбционных тепловых насосах теплоносители (аммиак, вода, спирт, углекислота, водород и т.д.) не оказывают вредного воздействия на окружающую среду и не влияют на глобальное потепление земного шара. В сорбционных тепловых насосах нет движущихся частей (компрессор, механический насос и т.д.), поэтому они бесшумны, обладают высокой термодинамической эффективностью, надежностью и длительным ресурсом работы, могут использоваться как стационарно, так и на транспорте. С помощью сорбционных тепловых насосов можно эффективно утилизировать тепло конденсата тепловых электрических станций для круглогодичного обогрева теплиц.

## Литература

- Vasiliev L.L., Nikanpour D., Antukh A.A., Snelson K., Vasiliev Jr. L.L., Lebru A., Multisalt — carbom chemical cooler for space applications, ISHPC, Proceedings of the International Sorption Heat Pump Conference, March 24-26, 1999, Munich, Germany. Pp.579-583.

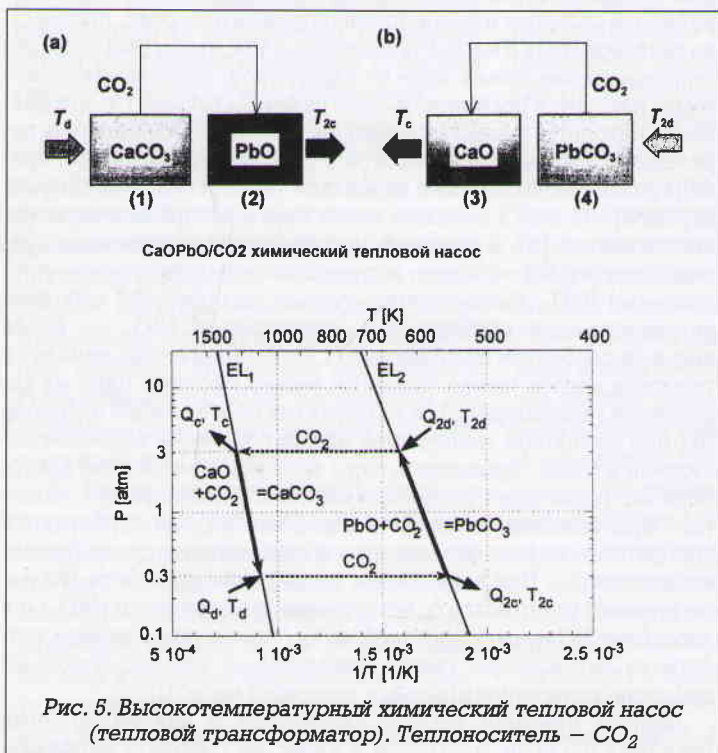


Рис. 5. Высокотемпературный химический тепловой насос (тепловой трансформатор). Теплоноситель —  $\text{CO}_2$