

Тепловой насос для систем тригенерации энергии (электричество, тепло и холод)

В связи с проблемой теплового загрязнения атмосферы и необходимостью эффективного использования органического топлива (природный газ) целесообразен уход от высокотемпературных циклов сжигания и переход на его прямое низкотемпературное преобразование, а также преобразование альтернативных источников энергии (солнце, вторичные энергоресурсы и т.д.) в электроэнергию — СНР).

Процесс традиционного получения электроэнергии на тепловых электрических станциях показан на рис. 1. При выделении 100% энергии сгоревшего топлива только 24% ее используется на совершение полезной работы.

С целью получения 146% энергии для отопления помещения с помощью парокompрессионного теплового насоса с электрическим приводом (рис. 2), необходимо затратить 314% первичной энергии сгоревшего топлива. Только 30% первичной энергии (работа электродвигателя) доходит до парокompрессионного теплового насоса, при этом в окружающую среду выхлопными газами выбрасывается 223% энергии высокотемпературного сжигания топлива, сопровождаемого выбросами в атмосферу углекислого газа и окислов азота. Необходимое количество теплоты для обогрева помещений, помимо теплового насоса, приходится обеспечивать с помощью прямого преобразования электрической энергии в теплоту (электронагрев). Положение несколько улучшается, если вместо электрического двигателя использовать двигатель внутреннего сгорания (например, дизель) (рис. 3) [1].

Благодаря наличию регенеративного теплообменника те же 146% полезного тепла для нагрева помещения от парокompрессионного теплового насоса мы получаем при сжигании в дизеле 100% жидкого топлива.

Из вышесказанного становится очевидной целесообразность децентрализованного использования топливных ресурсов непосредственно на местах его потребления [2]. В Республике Беларусь успешно осуществляется строительство развитой сети доставки природного газа до его непосредственного потребителя, включая индивидуальные застройщики. Внедрение систем тригенерации решит несколько важных проблем: обеспечение энергетической безопасности, экономию топливных ресурсов и уменьшение теп-

лового загрязнения окружающей среды (уменьшение выбросов углекислого газа и окислов азота в атмосферу). Системы тригенерации создаются на базе мотор-генераторов, либо машин Стирлинга, с утилизацией теплоты отходящих газов. Так, например, в Англии компания British Gas планирует в ближайшие 5 лет взамен обычных котлов-подогревателей снаб-

дить системами микротригенерации более двухсот тысяч домов. К 2010 г. устройства микротригенерации заменят до 10% всех мини-бойлеров, установленных в Англии. Замена котла на устройство для тригенерации в одном доме приведет к уменьшению выбросов углекислого газа на полторы тонны в год и даст экономию в 150 фунтов стерлингов. В период



Рис. 1. Процесс высокотемпературного преобразования энергии сжигания топлива в электроэнергию для тепловых насосов



Рис. 2. Эффективность (%) использования энергии сжигания топлива на тепловых электрических станциях для работы парокompрессионных электрических тепловых насосов

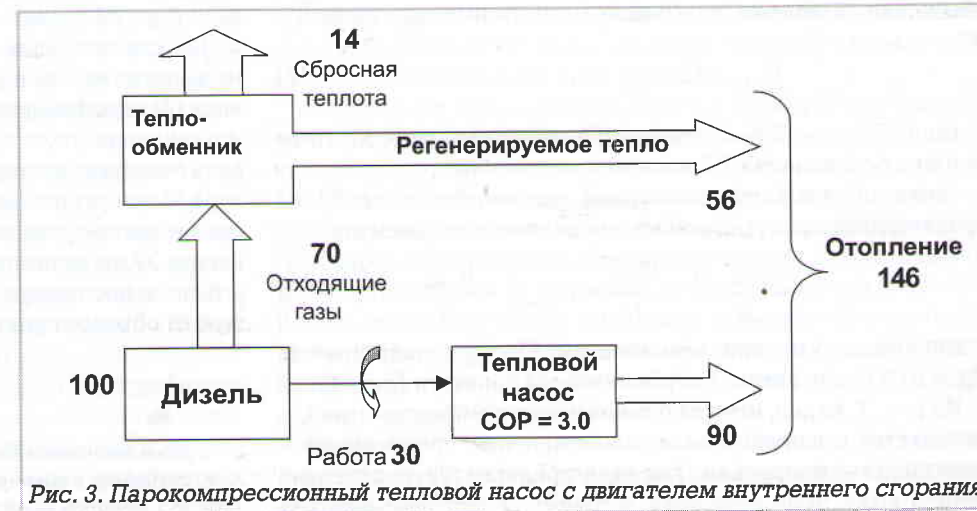


Рис. 3. Парокompрессионный тепловой насос с двигателем внутреннего сгорания

с 2010 по 2020 г. системы микротригенерации заменят 25% бойлерных систем отопления в индивидуальных жилищах.

Одним из прорывных направлений развития белорусской энергетики может стать разработка и серийное производство экологически чистых неэлектрических тепловых машин, в которых применяются сорбенты (рис. 4) [3–6]. Источником низкотемпературной энергии является окружающая среда (водные бассейны, грунт), а также вторичные и альтернативные источники энергии. К таким устройствам относятся системы тригенерации энергии (производство электричества, теплоты и холода), тепловые насосы на твердых сорбентах для нагрева и охлаждения, системы кондиционирования (в том числе для транспорта), системы хранения и транспортировки газа (метан, водород). Тепловые машины на твердых сорбентах активно разрабатываются в ряде передовых стран (Япония, США, Западная Европа). Тепловые насосы в сочетании с машинами Стирлинга, либо мотор-генераторами, составляют основу системы тригенерации (см. рис. 4).

Сорбционный тепловой насос, утилизирующий энергию отходящих газов и жидкостной системы охлаждения дизеля (рис. 4), при затратах 100% первичной энергии топлива обеспечивает 100% тепла для обогрева помещения, 30% «холода» для охлаждения воды и 25% электроэнергии для собственных нужд.

Потребителями тепловых машин могут быть предприятия сельского хозяйства (молочные фермы, нуждающиеся в электричестве, теплой воде и охладителях молока), транспорт, нуждающийся в эффективных экологически чистых системах кондиционирования (автомобили, тракторы, электротранспорт), Минжилкомхоз (системы кондиционирования, обогрева и охлаждения, микрокательные).

Тепловые машины на твердых сорбентах на 15–20% улучшают общую эффективность систем комбинированного производства электроэнергии, теплоты и холода.

Адсорбционные реверсивные тепловые насосы (теплота + холод) позволяют получить от 20 до 30 кВт/м³ тепловой энергии и до 5 кВт холода на кубический метр сорбента. Такие тепловые насосы экономят до 15–20% первичной энергии (топлива) для производства электричества, теплоты и холода.

Распространение в Западной Европе подобных энергетических установок даст экономии энергии до 50·10¹⁵ Дж ежегодно, что эквивалентно 1,6·10⁹ м³ природного газа (250 млн. евро). В этом случае в окружающую среду будет выброшено меньше на 3·10⁹ кг углекислого газа. В настоящее время в Европейском сообществе выполняется проект SOCOOL (окончание в 2006 г.), входящий в пятую рамочную программу (EU F5 Energie program). Данный проект ориентирован на создание систем тригенерации энергии для бытовых целей. При утилизации теплоты отходящих газов и отработанной жидкости дизель-генераторов, либо двигателей Стирлинга, эффективность подобных установок возрастает на 15–20%.

Типичным представителем тепловых машин является сорбционный (химический) тепловой насос, разработанный и испытанный в ИТМО НАН Беларуси (рис. 5).

Работа химических тепловых насосов (ХТН) основана на обратимой химической реакции «газ — твердое тело»:



В качестве твердого тела В обычно используют неорганические соли, которые образуют с рабочей жидкостью А комплекс А·В: с водой — гидраты В·nH₂O, с аммиаком — аммиакаты В·nNH₃ и т.д. Практическому применению неорганических солей в массивном состоянии препятствует несколько серьезных факторов:

а) существенное увеличение объема твердой фазы в ходе образования ком-

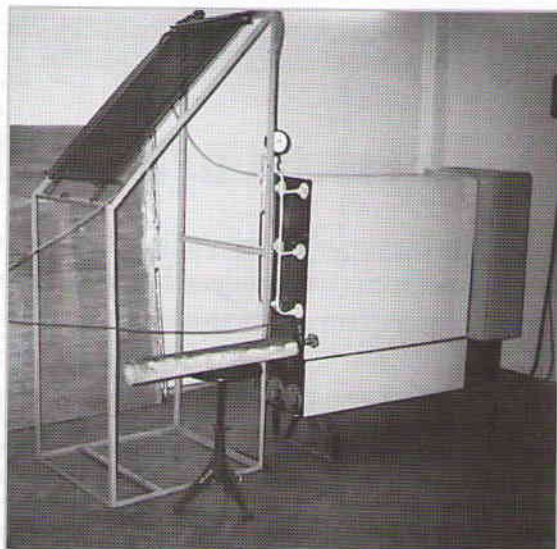


Рис. 5. Тепловой насос с конденсатором/испарителем

плекса (особенно для комплексов с аммиаком);

б) гистерезис в реакции (1), в результате которого разложение комплекса может происходить при более высокой температуре, чем его образование;

в) малая скорость реакции (1) за счет малой реакционной поверхности и/или образования на поверхности соли новой фазы, диффузия газа через которую затруднена;

г) коррозионная активность солей и комплексов при контакте с металлическими частями ХТН.

Для преодоления этих трудностей и повышения эффективности работы насоса нами были предложены новые двухкомпонентные сорбенты аммиака — активный уголь + микрокристаллы соли. В данных сорбентах микрокристаллы соли помещают на внешней или внутренней поверхности активного компонента — матрицы/распределителя [2].

Трехкаскадный адсорбционный тепловой насос обеспечивает режим постоянного тепло- и хладоснабжения и имеет два независимых источника холода. Снабжение потребителя электричеством осуществляется электрогенератором. В качестве источника питания теплового насоса используются отходящие газы либо система жидкостного охлаждения мотор-электрогенератора. Типичный пример использования такой системы тригенерации — обеспечение молочных ферм электроэнергией, теплотой и холодом (электричество — для питания доильных аппаратов и освещения, теплота — для горячего водоснабжения и холод — для охлаждения молока).

Тепловой насос (рис. 5) содержит высокотемпературный адсорбер (активированное углеволокно, пропитанное NiCl₂/NH₃), среднетемпературный адсорбер (активированное углеволокно, пропитанное MnCl₂/NH₃), низкотемпературный адсорбер-холодильник (активированное



Рис. 4. Система тригенерации на базе дизель-генератора и сорбционного теплового насоса

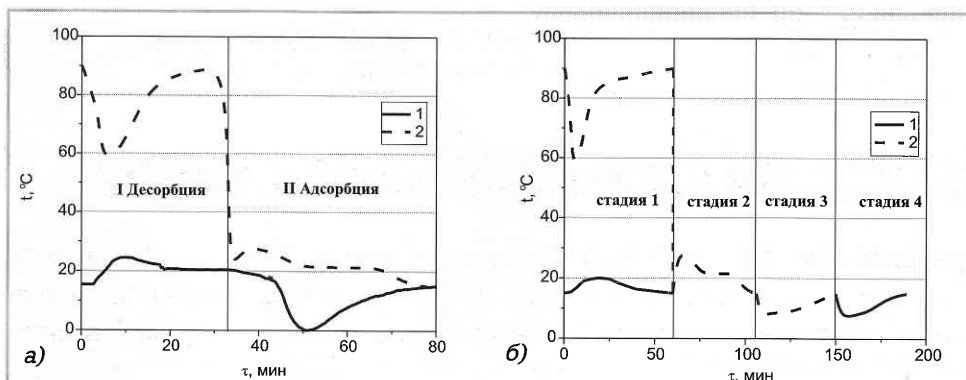


Рис. 6. Изменение температуры воды на выходе жидкостного теплообменника как функция времени работы теплового насоса: а — первый прототип насоса, б — второй прототип насоса (теплообменник находится внутри низкотемпературного адсорбера BaCl_2); 1 — конденсатор/испаритель, 2 — BaCl_2 адсорбер

углеволокно + $\text{BaCl}_2/\text{NH}_3$), а также испаритель/конденсатор. Испаритель/конденсатор выполнен с интенсификатором теплообмена в виде пористого покрытия для улучшения испарения жидкого хладагента. Тепловой насос может использоваться двойным образом.

Вариант А. Три адсорбера насоса одновременно потребляют энергию отходящих газов двигателя внутреннего сгорания для выработки холода и работают по двум циклам.

1. Адсорберы (NiCl_2 , MnCl_2 , и BaCl_2) имеют комнатную температуру и за время τ_1 нагреваются соответственно до температуры 230, 180 и 90 °С отходящими газами двигателя внутреннего сгорания и горячей жидкостью из системы охлаждения двигателя. Во время нагрева адсорберов идет процесс десорбции аммиака из сорбента и конденсация его паров в конденсаторе/испарителе.

2. В период времени τ_2 все три адсорбера охлаждаются до комнатной температуры, происходит адсорбция паров аммиака сорбентами, испарение жидкого аммиака и понижение температуры стенки испарителя до -3 °С (получение холода) (рис. 6).

Вариант В. Источником энергии для теплового насоса являются выхлопные газы двигателя внутреннего сгорания системы мотор-генератор. Для подогрева низкотемпературного адсорбера и десорбции паров аммиака используется энергия, снимаемая системой жидкостного охлаждения высокотемпературного и среднетемпературного адсорберов NiCl_2 , MnCl_2 . Нагрев адсорберов NiCl_2 , MnCl_2 до температуры 450–500 °С отходящими газами и затем их охлаждение жидкостью до температуры 90 °С позволяет передать до 1400 кДж энергии низкотемпературному сорбенту BaCl_2 и осуществить в нем процесс десорбции аммиака. Таким образом, происходит утилизация энергии системы охлаждения высокотемпературных адсорберов для получения холода в низкотемпературном адсорбере.

В данном прототипе теплового насоса получение холода осуществляется в четырех стадиях.

На первой стадии (интервал времени τ_1) отходящими газами адсорберы MnCl_2 и NiCl_2 нагреваются с помощью тепловых труб, вставленных в них, и происходит процесс десорбции паров аммиака. Пары аммиака конденсируются в конденсаторе теплового насоса и в низкотемпературном адсорбере BaCl_2 .

На второй стадии (интервал времени τ_2) адсорберы MnCl_2 и NiCl_2 с помощью вентиля отсоединяются от конденсатора/испарителя, и начинается процесс их охлаждения. Охлаждающая жидкость, имеющая температуру выше 95 °С, подается в адсорбер BaCl_2 . Происходит процесс нагрев сорбента и десорбция паров аммиака с последующей его конденсацией в конденсаторе/испарителе.

На третьей стадии (интервал времени τ_3) заканчивается процесс охлаждения всех адсорберов до температуры окружающей среды. Адсорбер BaCl_2 с помощью вентиля отсоединяется от конденсатора/испарителя, адсорберы MnCl_2 , NiCl_2 соединяются с низкотемпературным адсорбером BaCl_2 . Начинается процесс охлаждения (получение холода) адсорбера из-за десорбции паров аммиака, поскольку более сильные сорбенты, находящиеся в адсорберах MnCl_2 , NiCl_2 , забирают аммиак.

Во время четвертой стадии работы насоса (интервал времени τ_4) происходит охлаждение конденсатора/испарителя (получение холода) при испарении в нем жидкого аммиака. Пары аммиака адсорбируются всеми тремя адсорберами, присоединенными к конденсатору/испарителю с помощью вентиля.

На рис. 7 показан процесс нагрева и охлаждения теплового насоса. Максимальная тепловая мощность, подводимая к адсорберам MnCl_2 , NiCl_2 , составляет 400 Вт на каждый адсорбер, при этом получаем 200 Вт холода в испарителе (охлаждение циркулирующей в нем воды до 10 °С).

Анализ диаграммы Клапейрона-Клаузиуса (рис. 8), позволяет оценить эффективность работы теплового насоса с двумя источниками холода, которая равна ($\text{COP}_{\text{cooling}}$) 0,41 для первого прототипа

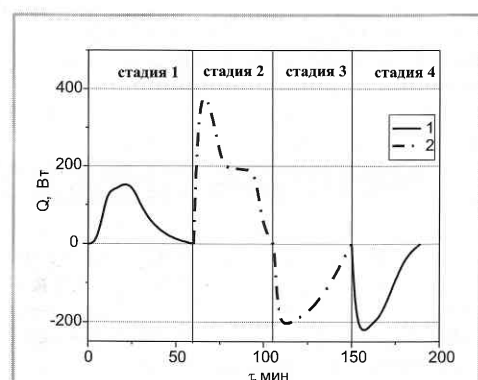


Рис. 7. Поглощение (холод) и выделение теплоты (нагрев) в конденсаторе/испарителе (1) и низкотемпературном адсорбере BaCl_2 (2) как функция времени цикла работы теплового насоса (адсорбция/десорбция сорбента)

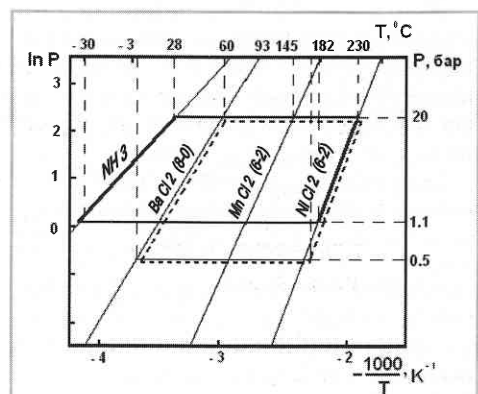


Рис. 8. Диаграмма Клапейрона-Клаузиуса для трехкаскадного теплового насоса (соли BaCl_2 , MnCl_2 , NiCl_2 + активированное углеволокно) с двумя источниками холода

теплового насоса (три адсорбера + конденсатор/испаритель). Для второго прототипа теплового насоса холодильный коэффициент эффективности равен 0,6.

Это означает, что с помощью сорбционного теплового насоса 1 кВт энергии отходящих газов дизеля преобразуется в 1,6 кВт теплоты для нагрева помещения и 0,6 кВт холода для его охлаждения (холодная вода).

Литература

- Lian Z, et al International Journal of Refrigeration — 2005. — №28. — P. 810–819.
- Васильев Л.Л. Перспективы применения тепловых насосов в Республике Беларусь//ИФЖ. — Т.78. — № 1. — С. 23–34.
- Васильев Л.Л., Канончик Л.Е. Сорбционные машины — эффективная энергосберегающая технология//Энергоэффективность. — 2002. — №6, 7.
- Васильев Л.Л., Канончик Л.Е., Антух А.А. Современные термодинамические циклы в энергетике — способ уменьшения выбросов углекислого газа в атмосферу и повышение КПД электростанций//Энергоэффективность. — 2002. — №11.
- Васильев Л.Л. Стационарные и передвижные хранилища газа в связанном сорбентами состоянии при низком давлении// Энергоэффективность. — 2003. — №1.
- Васильев Л.Л. Экологически чистые хладагенты и холодильные циклы для Республики Беларусь//Энергоэффективность. — 2005. — №8.