

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕПЛОВОГО НАСОСА В ПРОЦЕССЕ КОНДЕНСАЦИИ ПАРОВ РАБОЧЕГО ТЕЛА ТРИГЕНЕРАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ

Р. Э. Мастепанов

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель А. В. Овсянник

Рассмотрено применение тепловых насосов в процессе конденсации паров рабочего тела, способы их применения в тригенерационных установках для повышения их эффективности.

Ключевые слова: тригенерация, тригенерационные установки, насосы, сорбционные тепловые насосы, конденсация.

Тригенерация – это процесс организации выработки одновременно трех энергий: электричества, тепла и холода; и эффективный способ удовлетворения потребителей данными видами энергии, необходимыми в различных отраслях промышленности (для реализации технологических процессов), а также в сфере услуг и жилищно-коммунальном хозяйстве. В определенных условиях тригенерация позволяет снизить затраты топливно-энергетических ресурсов и улучшить экологические показатели генерирующих установок.

Системы тригенерации создаются на базе мотор-генераторов либо машин Стирлинга с утилизацией теплоты отходящих газов.

Одним из прорывных направлений развития белорусской энергетики может стать разработка и серийное производство экологически чистых неэлектрических тепловых машин, в которых применяются сорбенты. 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, системы хранения и транспортировки газа. Тепловые насосы в сочетании с машинами Стирлинга либо мотор-генераторами составляют основу системы тригенерации.

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

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

Адсорбционные реверсивные тепловые насосы 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 для производства электричества, теплоты и холода. 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.

Работа химических тепловых насосов основана на обратимом химической реакции «газ – твердое тело»:



В качестве твердого тела B обычно используют неорганические соли, которые образуют с рабочей жидкостью A комплекс AB : с водой – гидраты $B \cdot n\text{H}_2\text{O}$, с аммиаком – аммиакаты $B \cdot n\text{NH}_3$ и т. д.

Практическому применению неорганических солей в массивном состоянии препятствует несколько серьезных факторов:

- а) существенное увеличение объема твердой фазы в ходе образования комплекса;
- 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 химического теплового насоса.

Тепловой насос содержит высокотемпературный адсорбер, среднетемпературный адсорбер, низкотемпературный адсорбер-холодильник, а также испаритель/конденсатор. Испаритель/конденсатор выполнен с интенсификатором теплообмена в виде пористого покрытия для улучшения испарения жидкого хладагента. Тепловой насос может использоваться двумя способами:

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

1) адсорберы 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 конденсации его паров в конденсаторе;

2) в период времени τ_2 все три адсорбера охлаждаются до комнатной температуры, происходит адсорбция паров аммиака и понижение температуры стенки испарителя до –3 °С (получение холода).

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 .

В данном прототипе теплового насоса получение холода осуществляется в четыре стадии:

1) адсорберы MnCl_2 и NiCl_2 нагреваются отходящими газами 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 ;

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 на адсорбер BaCl_2 . Происходит процесс

нагрева сорбента и десорбция паров аммиака с последующей его конденсацией в конденсаторе/испарителе;

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 адсорбера из-за десорбции паров аммиака, поскольку более сильные сорбенты, находящиеся в адсорберах $MnCl_2$, $NiCl_2$, забирают аммиак.

4) охлаждение конденсатора/испарителя при испарении в нем жидкого аммиака. Пары аммиака адсорбируются всеми тремя адсорберами, присоединенными к конденсатору/испарителю с помощью вентиля.

Максимальная тепловая мощность, подводимая к адсорберам $MnCl_2$, $NiCl_2$, составляет 400 Вт на каждый адсорбер, при этом получаем 200 Вт холода в испарителе.

Анализ диаграммы Клапейрона–Клаузиуса, позволяет оценить эффективность работы теплового насоса с двумя источниками холода, которая равна 0,41 для первого прототипа теплового насоса. 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.

Л и т е р а т у р а

1. Ключинский, В. П. Тригенерационные турбодетандерные установки на основе низкокипящих рабочих тел / В. П. Ключинский // Беларусь в современном мире: материалы XII Международ. науч. конф. студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых, Гомель, 16–17 мая 2019 г. / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого, Гомел. обл. орг. о-ва «Знание»; под общ. ред. В. В. Кириенко. – Гомель: ГГТУ им. П. О. Сухого, 2019. – С. 329–331.
2. Овсяник, А. В. Тригенерационные турбоустановки на основе низкокипящих рабочих тел. / А. В. Овсяник, В. П. Ключинский // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энергет. об-ний СНГ. – 2022. – № 3 (65). – С. 263–275.
3. Антух А. А. Тепловой насос для систем тригенерации энергии (электричество, теплота, холод) / А. А. Антух, Л. Л. Васильев, О. С. Филатова // Энергоэффективность. – 2006. – № 1. – С. 16–18.
4. Васильев, Л. Л. Перспективы применения тепловых насосов в Республике Беларусь / Л. Л. Васильев // ИФЖ. – Т. 78, № 1. – С. 23–24.
5. Васильев, Л. Л., Экологически чистые хладагенты и холодильные циклы для Республики Беларусь / Л. Л. Васильев // Энергоэффективность. – 2005. – № 8. – С. 21–23.

ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ОТ ПРИМЕНЕНИЯ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ С СЕРДЕЧНИКОМ ИЗ АМОРФНОЙ СТАЛИ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

К. Е. Коршунов

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель Т. В. Алферова

Силовые трансформаторы, как масляные, так и сухие, уже долгое время никак не изменяются конструктивно. Производятся улучшения отдельных элементов, что влияет на рабочие характеристики трансформаторов, но конструктивно ничего не изменяется.