

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕПЛОНАСОСНЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛОТЫ ВТОРИЧНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ

Ключевые слова: теплонасосная установка, компрессионный тепловой насос, парокомпрессионная установка.

В работе рассматриваются возможности сокращения энергопотребления за счет внедрения теплонасосных установок для утилизации теплоты вторичных энергетических ресурсов. Приведены несколько вариантов использования тепловых насосов различных мощностей, которые в качестве тепловой энергии используют сбросное тепло вторичных энергоресурсов.

Keywords: Heat pump station, a compression heat pump, steam-compression setting..

This paper considers possibilities to reduce energy consumption through the introduction of heat pump installations for heat utilization of secondary energy resources. Provides several options for the use heat pumps if various capacities, which as the heat energy use waste heat of secondary energy resources.

Одним из наиболее эффективных методов сокращения энергопотребления является применение теплонасосных установок (ТНУ) для утилизации теплоты вторичных энергетических ресурсов (ВЭР). Многолетние исследования, а также многочисленный опыт эксплуатации таких установок показали целесообразность их использования в качестве эффективного и экономичного энергетического оборудования.

Принцип работы теплового насоса заключается в преобразовании тепловой энергии низкого температурного уровня в тепловую энергию более высокого потенциала, необходимого потребителю.

Наиболее широкое распространение получил компрессионный тепловой насос включающий в себя испаритель, в котором низкокипящему рабочему телу передается тепло от низкопотенциального источника, компрессор, осуществляющий сжатие полученного пара с повышением его температуры и конденсатор, в котором высвобождается теплота более высокого потенциала.

Поскольку на привод компрессора расходуется электрическая энергия, эффективность применения теплового насоса характеризует отношение полезного тепла, снятого в конденсаторе, к работе, затраченной на сжатие. Это отношение называют коэффициентом преобразования и для парокомпрессионных ТНУ он составляет 3 и более.

Другим, не менее важным фактором, определяющим целесообразность использования ТНУ, является наличие источника низкопотенциального тепла с более или менее высокой температурой. На многочисленных промышленных и энергетических предприятиях значительное количество средне- и низкопотенциальной теплоты сбрасывается с дымовыми газами котлов, потоками отработанных в технологических процессах воды и водяного пара, шахтными водами, вентиляционными выбросами, бытовыми стоками и может быть утилизировано с помощью ТНУ.

Основной областью применения теплонасосных установок является использование

их в качестве альтернативного источника теплоснабжения. Традиционные системы теплоснабжения имеют множество недостатков, в числе которых их низкая энергетическая и экономическая эффективность. И в первую очередь это связано с наличием протяженных теплотрасс, требующих значительных капитальных вложений, необходимых для их обслуживания и ремонта, а также с большими тепловыми потерями в том числе и в результате утечек теплоносителя. Кроме того в централизованных системах теплоснабжения большой удельный вес имеют расходы по транспорту и распределению тепла. Теплоснабжение с применением ТНУ позволит приблизить тепловые мощности к местам потребления и тем самым уменьшить протяженность тепловых сетей.

Теплонасосные установки нашли широкое применение за рубежом. Если в 1980 г. в США работало около 3 млн. ТНУ, в Японии 0.5 млн., в Западной Европе 0.15 млн., а в 1993г. общее количество работающих ТНУ в развитых странах превысило 12 млн., то в настоящее время в мире работает порядка 20 млн. тепловых насосов различной мощности. Согласно прогнозам Мирового энергетического комитета (МИРЭК), к 2020 году 75% теплоснабжения (коммунального и производственного) в развитых странах будет осуществляться с помощью тепловых насосов.

В России работы по созданию ТНУ находятся на стадии расчетно-аналитических исследований и проектных разработок. Несмотря на те обстоятельства, что себестоимость тепла, вырабатываемого ТН, по сравнению с традиционным теплоснабжением ниже в 1.5 – 2 раза, а срок окупаемости большинства ТНУ не превышает двух лет, массового производства и применения ТНУ пока не наблюдается. Внедрение таких установок сводится к появлению единичных ТНУ, в основном использующих в качестве низкопотенциального источника теплоты воду с температурой 4 - 40°C при максимальной температуре теплоносителя в рабочем цикле 55 - 70°C.

Примером такой ТНУ может служить парокompрессионная установка, использующая сбросное тепло вторичных энергоресурсов металлургических агрегатов АО «Новосибпрокат», представленная в [1]. Источником низкопотенциального тепла является вода с температурой 30°C существующей на заводе прямоточной системы охлаждения методических печей.

Система теплоснабжения состоит из теплового насоса тепловой мощностью 3 МВт с винтовым компрессором, укомплектованного всем необходимым оборудованием; баков-аккумуляторов тепловой энергии для систем отопления и горячего водоснабжения; блока регулирования, включающего систему защиты теплового насоса и автоматизации теплового режима теплоснабжения; системы водоводов, тепловых сетей и пр.

Использование ТНУ целесообразно в теплофикационных системах теплоснабжения для увеличения электрического к. п. д. ТЭЦ с учетом сезонного изменения тепловой нагрузки [2]. Принципиальная схема использования ТНУ в качестве сетевого подогревателя нижней ступени представлена на рис. 10.

ТНУ состоит из конденсатора 1, компрессора 2, испарителя 3 и дросселя 5. Отработавший в турбине 4 водяной пар поступает в испаритель 3, где тепло конденсации пара воспринимается рабочим телом теплового насоса. Мощность электродвигателя компрессора 2 преобразуется в тепло, которое передается в конденсаторе 1 нагреваемой сетевой воде вместе с теплом, отводимым в испарителе при конденсации водяного пара. Сетевой подогреватель 6 верхней ступени, пиковый водогрейный котел 7, тепловой потребитель 8 и сетевой насос 9 являются стандартными элементами теплофикационной системы теплоснабжения.

Проведенный энергетический анализ показал, что для рабочего тела R142 с температурой испарения $T_{и}=298$ К, температурой конденсации $T_{к}=278$ К и коэффициентом, учитывающим степень совершенства термодинамического цикла ТН, $\eta = 0.8$ коэффициент преобразования ϕ составляет 3.78.

Тепловой насос может работать совместно с бинарной термодинамической системой, представляющей собой газотурбинную установку, надстроенную паросиловой частью [3]. Поскольку цикл теплового насоса менее эффективен, чем цикл Карно, и в тепловых насосах неизбежны потери вследствие необратимости процессов в отдельных элементах, практически достижимые значения коэффициента преобразования несколько меньше расчетных. Тем не менее в реальных тепловых насосах его значение достигает 3 – 5 и выше, что свидетельствует в пользу таких систем.

С помощью ТНУ можно повысить эффективность действующих систем централизованного теплоснабжения снизив удельные расходы сетевой воды на единицу присоединенной нагрузки [4]. В этом случае ТНУ подключается к обратным трубопроводам. На

рисунке 2 приведена схема присоединения теплопотребляющих систем к тепловой сети с установкой смесительного насоса и ТНУ на перемычке для подмешивания охлажденной воды.

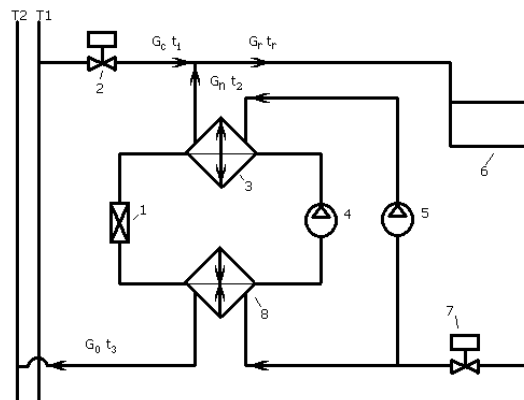


Рис. 1 - Принципиальная схема использования ТНУ в качестве сетевого подогревателя

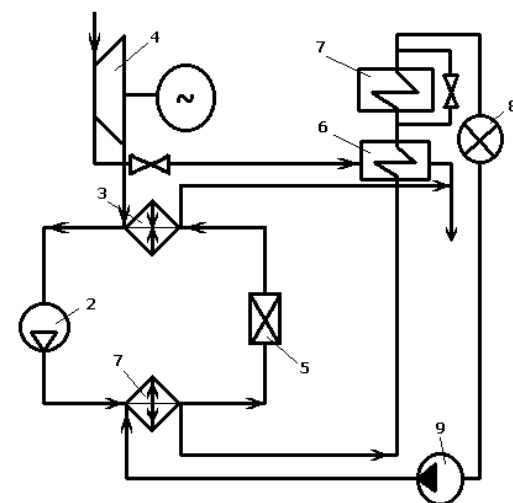


Рис. 2 - Тепловая схема присоединения теплопотребляющих систем к тепловой сети с установкой смесительного насоса и ТНУ

Тепловой насос реализован по классической схеме. Источником низкопотенциального тепла, отводимого в испарителе 8, является охлаждаемая сетевая вода. Полученный пар сжимается в компрессоре 4, в котором происходит преобразование мощности электродвигателя в тепло, которое затем в конденсаторе 3 передается нагреваемой сетевой воде. Смесительный насос 5 используется вместо элеватора. Для поддержания заданных параметров теплоносителя, поступающего в систему отопления, установлены регуляторы температуры 2 и расхода 7 (1 – дроссель, 6 – отопительный прибор).

С учетом того, что коэффициент преобразования парокompрессионного теплового насоса принимается больше 3, проведенный расчет показал, что расход сетевой воды сократится в 1.47 раза.

При использовании ТНУ совместно с конденсационными электростанциями (КЭС) происходит утилизация теплоты отработавшего

пара КЭС [4]. Минимальный коэффициент преобразования для такой системы составляет 4.6.

В качестве примера приведена установка для совместной работы КЭС и теплового насоса, предназначенного для регенеративного подогрева питательной воды (рис. 3).

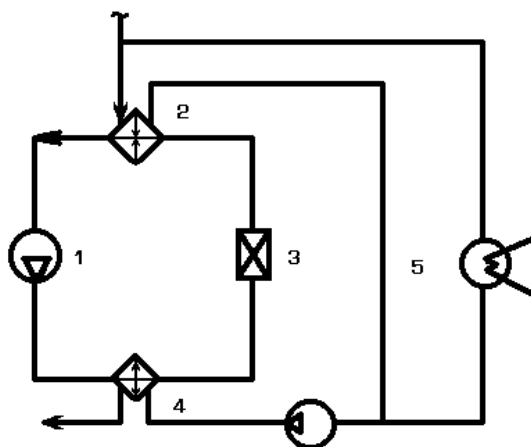


Рис. 3 - Тепловая схема установки для совместной работы КЭС и теплового насоса

Источником низкопотенциальной теплоты ТН является отработавший в турбине пар, теплота конденсации которого не выбрасывается в окружающую среду, как в обычной схеме, а используется для подогрева питательной воды. В схеме на рисунке мощность электродвигателя компрессора 1 преобразуется в тепло, которое в конденсаторе 4 передается нагреваемой питательной воде вместе с теплом, отводимым в испарителе 2 от отработавшего в турбине пара при его конденсации.

Применение парокompрессионных тепловых насосов в горнометаллургическом комплексе и на других промышленных предприятиях Урала является одним из эффективных методов утилизации низкопотенциальной теплоты дымовых газов, отработанной в технологических процессах воды, шахтных вод, вентиляционных выбросов.

В качестве одной из разработок по внедрению ТНУ на промышленных установках в [5] рассматривается совместная работа компрессорной станции шахты "Ключевская" ПО "Кизелуголь" с тепловым насосом. Две машины, предназначенные для работы в режиме теплового насоса, были изготовлены на базе холодильной установки ПХУ-50 и использовались для охлаждения и утилизации теплоты оборотной воды. Нагретая в конденсаторе ТНУ вода подавалась в систему низкотемпературного отопления для обогрева промышленных зданий и других объектов (рис. 4).

Испытания подтвердили экономическую целесообразность утилизации ранее сбрасывавшегося тепла и улучшение экологической обстановки на прилегающих территориях за счет снижения нагрузки на промышленные котельные.

В качестве научно – исследовательской разработки Московский энергетический институт предложил двухцелевой ТН, в котором процессы охлаждения и конденсации разделяются на две отдельные зоны и реализуются в различных

теплообменных аппаратах (охладителе перегретых паров и конденсаторе) [6].

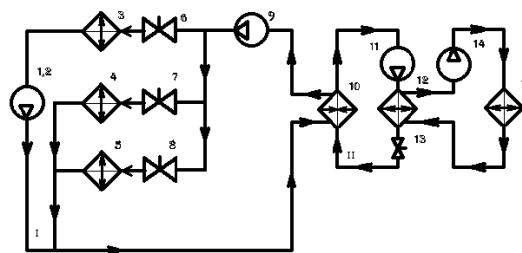


Рис. 4 - Технологическая схема установки с применением теплового насоса для утилизации низкопотенциальной теплоты: I - компрессор; II - тепловой насос; III - потребитель тепловой энергии; 1,2 - цилиндры низкого и высокого давления; 3 – 5 - промежуточный, масляный и конечный холодильники; 6 – 8, 13 - регулировочные вентили; 9 - насос системы охлаждения компрессора; 10 – 12 - соответственно испаритель, компрессор и конденсатор теплового насоса; 14 - насос теплосети; 15 - нагревательные элементы теплосети

Благодаря такому конструктивному решению эксергетический к. п. д. конденсатора может быть повышен на 3 – 6%, и, как следствие, к. п. д. всей установки увеличится на 2 – 4%.

Двухцелевой ТН предназначен для одновременного получения теплоносителя (воды) двух температурных уровней: горячей воды с температурой T_g , которая может быть использована, например, в системах горячего водоснабжения и нагретой воды с температурой T_b (для низкотемпературного отопления) (рис.5).

Тепловой насос работает следующим образом. Сжатые в компрессоре пары фреона R-12 в перегретом состоянии с температурой T_2 и давлением P_2 поступают в охладитель перегретых паров ОП, в котором охлаждаются до температуры T_3 , отдавая теплоту горячей воде, а затем, пройдя через вентиль В1, с давлением P_3 и температурой T_3 поступает в конденсатор К, где происходит его окончательное охлаждение с последующей конденсацией и отдачей теплоты нагреваемой воде, поступающей от системы НПИТ. После этого переохлажденный фреон с температурой T_4 и давлением P_4 дросселируется через вентиль ДР, после чего в состоянии влажного пара с температурой T_5 и давлением P_5 поступает в испаритель И, где происходит его кипение за счет подвода низкопотенциальной теплоты воды от НПИТ. Пройдя испаритель И, пар фреона с температурой T_1 и давлением P_1 оказывается в компрессоре КМ.

Нагреваемая вода с расходом G_k и температурой T_{b2} подводится к конденсатору ТН, где нагревается до температуры T_{b1} . После конденсатора основной поток нагретой воды подается к потребителю, например, в систему низкотемпературного отопления, а меньший поток с

расходом G_r и температурой $T_{в1}$ поступает в охладитель перегретых паров, в котором нагревается до температуры T_r и отводится далее к другому потребителю, например, в систему горячего водоснабжения.

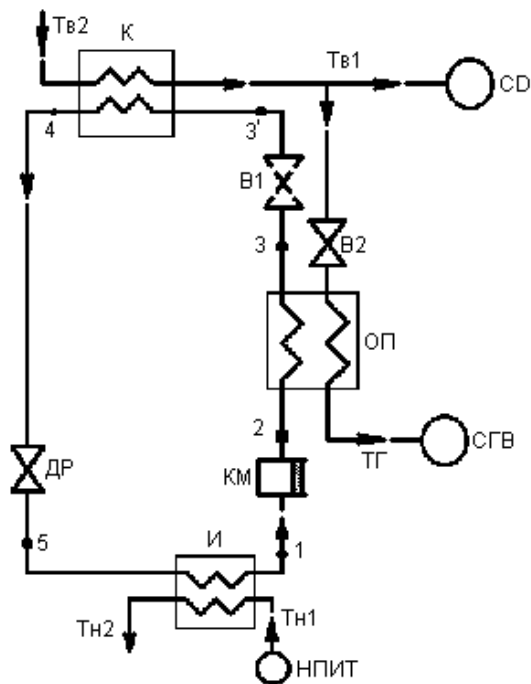


Рис. 5 - Типовая схема двухцелевого теплового насоса

В результате обработки экспериментальных данных, полученных для конкретного режима работы двухцелевого ТН, были получены следующие результаты:

Коэффициент преобразования двухцелевого насоса - $\mu = 3.22$;

Эксергетический к. п. д. насоса - $\eta_e = 0.2$ [7].

Таким образом, использование теплонасосных установок для утилизации вторичных энергетических ресурсов является одним из

наиболее эффективных методов сокращения энергопотребления, которое в настоящее время обеспечивается в основном за счет сжигания органического топлива в установках различных мощностей и конструкций [8]. Парокомпрессионные ТНУ, реализующие прогрессивную энергосберегающую технологию производства теплоты, позволят поднять на качественно новый уровень системы теплоснабжения. Многие зарубежные специалисты считают, что ТНУ в ближайшей перспективе займут основное место в низкотемпературных системах теплоснабжения.

Литература

1. Мартыновский, В.С. Циклы, схемы и характеристики теплотрансформаторов. – М.: Энергия. 1979.
2. Васильев, Г.П. Теплонасосные системы теплоснабжения для потребителей тепловой энергии в сельской местности // Теплоэнергетика. 1997. №4. – С. 21-24.
3. И. Строймен. Холодильные установки, кондиционеры и тепловые насосы для XXI века / И.Строймен, А. Бредсен, Й. Петерсен // Холодильный бизнес. 2000. №5.
4. Стенин, В.А. Теплонасосная установка для снижения удельного расхода сетевой воды в системах теплоснабжения // Промышленная энергетика. 1997. №6. – С.35-37.
5. Бродянский, В.М. Термодинамические особенности циклов парокомпрессионных тепловых насосов / В.М. Бродянский, Е.Н. Серова // Холодильная техника. 1997. №7.
6. Федянин, В.Я. Применение теплового насоса для поддержания теплового режима и оптимизации работы бассейна / В.Я.Федянин, А.И. Парфенов, М.А. Утемесов // Холодильная техника. 1998. №9.
7. Гетман, В.В. Использование метода испарительного охлаждения для повышения эффективности работы газовой теплонасосной установки. / В.В. Гетман, Н.В. Лежнева // Вестник Казан. технол. ун-та. – 2011. - №18. – С. 174-179.
8. Гетман, В.В. Методы утилизации теплоты уходящих газов от энергетических установок. / В.В. Гетман, Н.В. Лежнева // Вестник Казан. технол. ун-та. – 2013. - №8. – С. 124-128.