

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 пароконпрессионных 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 парокомпрессионная 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  $T_i = 298 \text{ K}$ , температурой конденсации  $T_k = 278 \text{ K}$  и коэффициентом, учитывающим степень совершенства термодинамического цикла ТН,  $\eta = 0.8$  коэффициент преобразования  $\phi$  составляет 3.78. Тепловой насос может работать совместно с бинарной термодинамической системой, представляющей собой газотурбинную установку, настроенную 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 теплотребляющих 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 теплотребляющих 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 концевой 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  $T_{в1}$ . После конденсатора основной поток нагретой воды подается к потребителю, например, в систему низкотемпературного отопления, а меньший поток с расходом  $G_g$  и температурой  $T_{в1}$  поступает в охладитель перегретых паров, в котором нагревается до температуры  $T_g$  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 -  $m = 3.22$ ; 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.