

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕПЛОНАСОСНЫЕ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

В.М. БОРОВКОВ, А.А. АЛЬ АЛАВИН

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

В данной статье предлагается применять тепловой насос (ТН) вместо градирни в составе парогазовой установки с котлом-утилизатором (ПГУ с КУ). Так как температура уходящих газов оказывает решающее влияние на экономичность работы ПГУ с КУ, снижение температуры уходящих газов приводит к увеличению КПД КУ. Поэтому предлагается установить газодводяний теплообменник (ГВТО) в хвостовой части КУ. Во избежание коррозионного износа материала ГВТО обратная сетевая вода поступает в него с температурой не менее температуры точки росы уходящих газов за счет использования теплоты, отдаваемой конденсатором теплового насоса. Одним из путей повышения эффективности ТН является использование охладителя перегретых паров фреона, отдельного от конденсатора.

Добыча, доставка топлива и преобразование энергии обходятся все дороже, а запасы органического топлива невозобновимы. В этих условиях первостепенной задачей становится наиболее экономное и рациональное использование всех видов природных и топливно-энергетических ресурсов. Также серьезного внимания заслуживает вопрос защиты окружающей среды от вредных выбросов.

Парогазовая установка с котлом-утилизатором (ПГУ с КУ) – наиболее перспективная и широко распространенная в энергетике, отличающаяся простотой и высокой эффективностью производства электрической энергии. Эти ПГУ – единственные в мире энергетические установки, которые при работе в конденсационном режиме отпускают потребителям электроэнергию с КПД 55-60 % [1].

Как известно из второго закона термодинамики, невозможно всю теплоту, подведенную к рабочему телу в теплосиловом цикле, превратить в работу, при превращении теплоты в работу необходимо часть подведенной теплоты отвести в холодный источник [2].

Задача энергосберегающей технологии в том, что прежде, чем отдать окружающей среде эту отработанную энергию, из нее необходимо забрать всю оставшуюся в ней эксергию и использовать ее с должной эффективностью.

Одним из эффективных путей использования теплоты сбросной воды ТЭС признан подогрев питательной и сетевой воды паром из отборов турбины. Однако, как показывают технико-экономические расчеты, в некоторых случаях применение теплонасосных установок (ТНУ) для тех же целей экономически более целесообразно. Обязательное условие применения ТНУ в тепловых схемах ТЭС и системах теплоснабжения – наличие источника низкопотенциальной теплоты и близко расположенных потребителей генерированной теплоты более высокого потенциала (например, потребителей горячей воды с температурой 60...70 °С) [3].

Источником низкопотенциальной теплоты на ТЭС может служить охлаждающая циркуляционная вода конденсатора, а также обратная сетевая вода.

Таким образом, применение ТНУ является одним из эффективных мероприятий по экономии топлива, а также по защите окружающей среды, позволяющих с

© В.М. Боровков, А.А. Аль Алавин

Проблемы энергетики, 2007, № 1-2

наименьшими затратами комплексно решать проблему экономии первичных энергоресурсов, предотвращения общего и теплового загрязнения окружающей среды и обеспечения тепло- и хладоснабжения технологических процессов. В традиционных системах теплоснабжения для получения новых количеств эксергии потребляются новые количества первичных энергоресурсов (топлива). В ТНУ значительная часть (70-80%) преобразуется из источника низкопотенциальной теплоты ИНПТ с затратой некоторой доли (20-30%) эксергии. Затраченная на приводе компрессора энергия может быть электрической, механической или тепловой [4].

Предлагается применять ТНУ вместо градирни, что, помимо утилизации сбросной низкопотенциальной теплоты, позволяет: повысить выработку электроэнергии в турбогенераторе; уменьшить расход прокачиваемой технической воды, соответственно снизив мощность циркуляционного насоса; установить оптимальный вакуум и температуру охлаждающей воды в конденсаторе, т.е. повысить надежность эксплуатации оборудования; снизить размер отчислений в экологический фонд за отбор свежей воды из рек и исключить сброс низкопотенциальной теплоты в холодный источник.

Теплонасосная установка – это трансформатор теплоты (включающий испаритель, компрессор, дроссельный вентиль и конденсатор), в котором происходит перенос тепловой энергии от источника низкого потенциала (природная теплота, сбросная теплота промышленности и т.п.) к потребителю тепловой энергии. Иначе говоря, с помощью ТНУ избыточные вторичные энергоресурсы, которые нельзя использовать в технологическом процессе предприятия, могут быть использованы для удовлетворения отопительно-вентиляционной нагрузки или нагрузки горячего водоснабжения самого предприятия, а также для теплоснабжения внешних потребителей.

Температура уходящих газов КУ оказывает решающее влияние на экономичность работы ПГУ с КУ, так как потеря теплоты с уходящими газами является одной из наибольших потерь в ней. Снижение температуры уходящих газов на 12-16 °С приводит к повышению КПД КУ примерно на 1%. Обычно на электростанциях температура уходящих газов не менее 100 °С, а это значит: тепловой потенциал есть, необходимо использовать его наиболее полно и в результате – повысить КПД установки [5].

Максимальная температура газов, при которой начинается конденсация водяных паров в присутствии оксидов серы, носит название температуры точки росы ($t_{Т.р}$). Увеличение содержания в дымовых газах паров H_2SO_4 повышает температуры ($t_{Т.р}$). Температура конденсации $t_{конд.}$ определяется по парциальному давлению водяных паров на кривой насыщения в потоке дымовых газов. При сгорании чистого природного газа (с малым содержанием серы) температура точки росы находится в диапазоне 50...60 °С в зависимости от коэффициента избытка воздуха в потоке уходящих газов.

Для охлаждения дымовых газов котла до приемлемой температуры в хвостовой части котла-утилизатора предлагается установить газоводяной теплообменник (ГВТО). Во избежание коррозионного износа материала ГВТО обратная сетевая вода поступит в него с температурой не менее 60 °С за счет использования теплоты, отдаваемой конденсатором теплового насоса.

В компрессионной ТНУ, кроме теплоты конденсации, возможно получить еще некоторое количество теплоты при более высокой температуре за счет использования перегрева рабочего вещества, выходящего из компрессора. В отопительных ТНУ эту теплоту особенно эффективно используют для дополнительного подогрева воды при

горячем водоснабжении. В технологических ТНУ эту же теплоту перегрева можно рационально использовать для пикового подогрева теплоносителя.

Эксергетический метод анализа с учетом деления потерь эксергии на технические и собственные показывает, что повышение эффективности ТН связано с улучшением режима эксплуатации конденсатора. При работе последнего в обычных условиях (с зонами охлаждения перегретых паров рабочего тела и их последующей конденсацией) возникают технические потери эксергии, уменьшающие

эксергетический КПД (η_e) и эффективность конденсатора, что, в свою очередь, приводит к снижению эффективности теплового насоса ТН [6,7].

Эффективность конденсатора можно повысить путем создания двухцелевого ТН, в котором процессы охлаждения и конденсации разделяются на две отдельные зоны и реализуются в различных теплообменных аппаратах (охладителе перегретых паров-предконденсаторе и в самом конденсаторе). Это обуславливает повышение эксергетического КПД конденсатора на 3- 6 % и, соответственно, общего эксергетического КПД ТН на 2- 4 % [8].

Тепловой насос в системе отопления и горячего водоснабжения работает следующим образом (рис. 1). Сжаты в компрессоре КМ пары фреона в перегретом состоянии с температурой T_2 и давлением P_2 поступают в охладитель перегретых паров фреона ОП, в котором охлаждаются до температуры T_3 , отводя теплоту горячей воде (доли потока нагреваемой воды после ГВТО). После ОП пар фреона с давлением P_3 проходит вентиль В1 и с давлением P_3' и температурой T_3' поступает в конденсатор Кр, в котором происходит его окончательное охлаждение с последующей конденсацией и отдачей теплоты нагреваемой воде (обратной воде из системы отопления). После этого переохлажденный фреон с температурой T_4 и давлением P_4 поступает в дроссельный вентиль ДР, в котором происходит расширение рабочего агента от давления конденсатора до давления испарителя (дросселирование), сопровождающееся снижением его температуры. Затем, в состоянии влажного пара с температурой T_5 и давлением P_5 , фреон попадает в испаритель И, где происходит его кипение за счет подвода теплоты от воды, поступающей в испаритель из системы низкопотенциального источника теплоты НПИТ (источником низкопотенциальной теплоты служит охлаждающая циркуляционная вода конденсатора паротурбинной установки ПТУ). Пройдя испаритель И, пар фреона с температурой T_1 и давлением P_1 оказывается в компрессоре КМ, и цикл замыкается.

Основные параметры двухцелевого ТН определялись по следующим формулам: теплопроизводительность конденсатора:

$$Q_K = G_K c_p (T_{B2'} - T_{B2}). \quad (1)$$

теплопроизводительность охладителя перегретых паров

$$Q_{ОП} = G_{ОП} c_p (T_T - T_{B1}). \quad (2)$$

тепловая нагрузка ГВТО

$$Q_{ГВТО} = G_K c_p (T_{B1} - T_{B2'}). \quad (3)$$

тепловая нагрузка испарителя

$$Q_I = G_I c_p (T_{H1} - T_{H2}). \quad (4)$$

Выводы

1. Одним из путей повышения эффективности ПГУ с КУ является введение ТНУ в её состав. Предлагается применять ТНУ вместо градирни, что, помимо утилизации сбросной низкопотенциальной теплоты, позволяет: установить оптимальные вакуум и температуру конденсата в конденсаторе и, тем самым, повысить выработку электроэнергии; уменьшить расход прокачиваемой технической воды (охлаждающей воды), соответственно, снизив мощность циркуляционного насоса.

2. Установление ГВТО в хвостовой части котла-утилизатора приводит к повышению коэффициента использования теплоты топлива, так как при использовании ТНУ уменьшаются потери теплоты с уходящими газами.

3. Пути повышения эффективности ТН являются: использование охладителя перегретых паров фреона, отделенного от конденсатора, и внутренний (регенеративный) теплообмен между потоком жидкого рабочего тела перед дросселем и потоком пара перед компрессором.

4. Применение ТНУ обеспечивает уменьшение теплового загрязнения окружающей среды (сброса теплоты с охлаждающей водой и с уходящими газами).

5. Кроме систем горячего водоснабжения и отопления в жилищном секторе, двухцелевой ТН может использоваться в любых отраслях промышленности, где для технологических процессов требуется теплоноситель различных температурных уровней и где подача теплоносителя соответствует неравномерному графику потребления теплоты.

Summary

In this paper it is suggested to use heat pump for space heating and domestic hot water production in combined thermal power plants, instead of cooling tower. Since the temperature of exhaust gases seriously affects the economical performance of thermal power plant it is also suggested to place a gas-water heat exchanger at the end section of the utilizing boiler.

To prevent corrosion of the heat exchanger's material the temperature of the returned heating water shall be increased to a value above the dew point temperature of the exhaust gases. This may be achieved by using the heat rejected from the condenser of the heat pump.

To increase the efficiency of the heat pump in general it is proposed to use a two-stage condenser (condenser and de-superheater).

Литература

1. Цанев С.В., Буров В.Д., Ремезов А.Н. Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций: Учебное пособие для вузов/ Под ред. Цанева С.В. - М.: Издательство МЭИ, 2002.- 584 с.

2. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети: Учебник для вузов. – 6-е изд., перераб. – М.: Издательство МЭИ, 1999.- 472с.

3. Масленников В.В., Павлов В.С., Ткаченко А.С. Применение теплонасосных установок в тепловых схемах ТЭС // Энергетическое строительство.-1994.- №2.-С. 37-40.

4. Сорокин О.А. Применение теплонасосных установок для утилизации сбросной низкопотенциальной теплоты на ТЭС // Промышленная энергетика.-2005.- №6.-С. 34-41.

5. Ахмедов Д.Б., Шестаков С.М., Парамонов А.П. Расчет и конструирование котла. Часть 1. Компонировка и тепловой баланс котла: учебное пособие. СПбГПУ: Санкт-Петербург, 1999.

© Проблемы энергетики, 2007, № 1-2

6. Соколов Е.Я, Бродянский В.М. Энергетические основы трансформации тепла и процессов охлаждения.- М.: Энергоатомиздат, 1989. 320с.
7. Бродянский В.М., Фратшер В., Михалец К. Эксергетический метод и его приложения. Под ред. В.М. Бродянского. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 288 с.
8. Мартынов А.В., Петраков Г. Н. Двухцелевой тепловой насос // Промышленная энергетика. -1994.- №.12.-С.25-28.
9. Янговский Е. И., Пустовалов Ю.В. Парокомпрессионные теплонасосные установки. - М.: Энергоиздат, 1982.- 144 с.

Поступила 05.09.2006