

4. Michaelis, A. Additive Manufacturing of Ceramic Heat Exchanger: Opportunities and Limits of the Lithography-Based Ceramic Manufacturing (LCM) / U. Scheithauer, E. Schwarzer, T. Moritz, A. Michaelis // J. Mater. Eng. Perform. – Springer US, 2018. – Т. 27, № 1. – С. 14–20.

5. Singh, P. State-of-the-art in heat exchanger additive manufacturing / I. Kaur, P. Singh // Int. J. Heat Mass Transf. – Elsevier Ltd, 2021. – Т. 178. – С. 121600.

УДК 620.97

Возможность утилизации низкотемпературных потоков теплоты на энергогенерирующих источниках

Янчук В. В., Романюк В. Н.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Различные низкотемпературные тепловые потоки процессов конденсации пара, глубокого охлаждения дымовых газов, а также систем охлаждения технологических потоков на ТЭС, сегодня возможно и энергетически рационально использовать, например, для нагрева сетевой воды, вспомогательных потоков, а также для частичного регенеративного подогрева конденсата. Для реализации указанных решений утилизации низкотемпературных тепловых потоков предполагается применение тепловых насосов, как абсорбционных, так и парокомпрессионных. Простой срок окупаемости подобных мероприятий отвечает требованиям, которые сегодня предъявляются к энергосберегающим проектам, не превышает 4-х лет.

С ростом общего уровня жизни и количества населения планеты опережающими темпами также растет и энергопотребление. Так, за 10 лет в 2020 г. по сравнению с 2010 годом производство электроэнергии в мире выросло на 24 % (рис.).

В последние десятилетия в мире значительно возрастает доля электроэнергии (ЭЭ), вырабатываемой за счет возобновляемых источников энергии, однако до настоящего времени в качестве первичного энергоресурса при генерации ЭЭ преобладает органическое топливо – 61 % в общем балансе производства электроэнергии в 2020 г. На рис. приведено изменение роли различных источников энергии в мире при производстве ЭЭ с 1985 по 2020 гг.

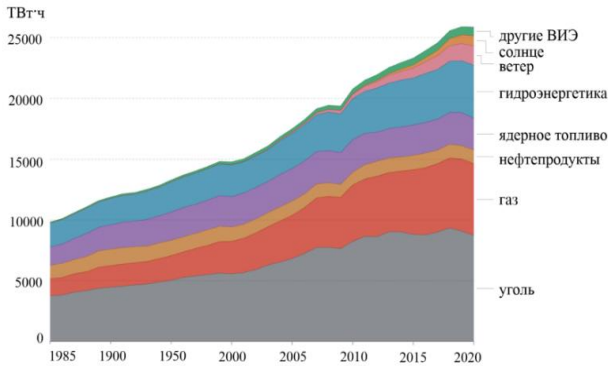


Рис. Производство электроэнергии в мире с разбивкой по источникам

По сравнению с миром, в Беларуси при производстве ЭЭ в основном используется органическое топливо. В 2020 г. на ТЭС энергосистемы за счет природного газа (ПГ) выработано 97 % всей произведенной электроэнергии. После ввода в эксплуатацию Бел АЭС, баланс изменится, однако за счет ПГ будет производиться до 57 %, т. е. более половины, выработки ЭЭ.

Удельный расход условного топлива на 1 кВт·ч отпущенной ОЭС РБ электроэнергии в 2020 году составил 238,5 г., что соответствует среднему значению КПД отпуска ЭЭ по республике в 51,6 %. То есть половина первичной энергии в процессе преобразования сбрасывается в окружающую среду в виде потоков низкотемпературной тепловой энергии. Основные источники этих потоков на ТЭС известны: контуры охлаждения технологических систем, конденсаторы паровых турбин, теплота охлаждения которых отводится с оборотной водой и посредством градирен рассеивается в ОС, а также отходящие продукты сгорания. В случае сжигания некоторых твердых топлив можно рассматривать и утилизацию теплоты охлаждения золы, которая также имеет достаточную температуру.

Потенциал энергосбережения за счет утилизации низкотемпературных тепловых потоков значителен для достижения требуемых значений снижения потребления, прежде всего, природного газа. Обращаясь к циклам паротурбинных установок (ПТУ), в соответствии с положениями 2-го закона термодинамики часть энергии следует передать тем или иным потребителям теплоты, и если для генерации на паре отборов ТЭЦ, потребители теплоты полезные, генерация на потоке пара в конденсатор связана с рассеиванием энергии конденсации пара в окружающей среде. Очевидно, что на

КЭС часть этих потоков, а на ТЭЦ полностью, можно использовать. Эти потоки имеют низкую температуру, что препятствует их прямому использованию для нагрева других сред с более высокой температурой. В этой связи, надо обратиться к тепловым машинам обратного цикла, которые позволяют передачу теплоты от более холодных к более горячим средам при соответствующей компенсации такой передачи тепловой энергии в виде дополнительных затрат энергии.

В нашей стране, а также за рубежом, имеются примеры подобной утилизации низкотемпературных потоков теплоты на ТЭЦ, КЭС и в технологических схемах промышленных предприятий. Рассмотрим некоторые из них.

Многими авторами предлагается внедрение тепловых насосов (ТН) в теплофикационный контур ТЭЦ. В качестве источника низкопотенциальной энергии используется циркуляционная вода соответствующих систем охлаждения ТЭЦ, а также сопряженных промузлов.

В работе [1] за счет применения парокомпрессионных тепловых насосов (ПКТН) на ТЭЦ рассматривается обеспечение части пиковой отопительной нагрузки, что позволяет в резерв вывести пиковые водогрейные котлы.

В исследовании [2] показано, что внедрение абсорбционных бромистолитиевых тепловых насосов (АБТН) в теплофикационный контур угольной ТЭЦ позволяет повысить эффективность станции на 1,39–2,27 % в зависимости от нагрузки, так как часть пара, ранее направляемого на подогрев сетевой воды, после модернизации не отбирается, а продолжает расширение в турбине. Другая часть потока пара служит приводом АБТН, а в качестве низкопотенциального источника потока утилизации используется теплота конденсации отработавшего пара. Опыт использования ТН на угольной ТЭЦ в Китае для подогрева сетевой воды в первой ступени также показывает простой срок окупаемости менее двух лет.

В БНТУ приведено сравнение эффективности применения двух типов тепловых насосов для утилизации низкотемпературной тепловой энергии охлаждения конденсатора и генератора ПТ-60 для нагрева сетевой воды – абсорбционного (АБТН) и парокомпрессионного (ПКТН). Отопительные коэффициенты для принятых условий для указанных ТН соответственно равны 1,7 и 2,8. Авторами получено, что положительный эффект внедрения достигается только в варианте с АБТН. При этом простой срок окупаемости составляет от 2,3 до 4,9 лет в зависимости от режима работы.

Для турбоустановки Т-180/210-130 рассматривалось включение АБТН тепловой мощностью 25 МВт в схему с целью снижения температуры обратной циркуляционной воды охлаждения конденсатора и подогрева сетевой воды [3]. В результате получено относительное повышение электрического КПД станции на 2,5–12,3 %.

При работе ТН на нагрев сетевой воды в системе теплофикации, положительный эффект проявляется не только в уменьшении расхода топлива на подогрев сетевой воды, а также в увеличении вакуума в конденсаторе турбины, что несколько повышает выработку ЭЭ при сохранении прочих параметров [4].

При сохранении количества отпускаемой тепловой энергии станции за счет утилизации низкотемпературных тепловых потоков посредством использования АБТН, также возрастает ее электрический КПД на 6–10 %, КПД использования топлива на 5,7–7,7 % в зависимости от тепловой нагрузки ТЭЦ. Согласно [5], эксергетическая эффективность подобной схемы в 1,5–2,5 раза выше по сравнению с традиционными схемами ТЭЦ. Эксергетическая эффективность классических ТЭС с ТН с турбинами номинальной мощностью 50–250 МВт оценивается 0,12–0,15, для станций с турбинами 250–500 МВт – 0,18–0,20.

Интерес представляет возможное использование низкотемпературных тепловых потоков для регенеративного подогрева потока основного конденсата КЭС. Например, Янченко И. В. в диссертационной работе по специальности 05.14.14 показал, что для конденсационного блока ТЭС с ПТУ К-300-240-2 включение АБТН в схему позволяет повысить эффективность станции на 0,1–0,9 %, в зависимости от коэффициента недовыработки электрической энергии, режима работы электростанции и эффективности преобразования АБТН. Простой срок окупаемости модернизации составляет порядка 3 лет. В то же время, как показано в работе Курнаковой Н. Ю. из ИрГТУ альтернативное использование ПКТН в схеме ТЭС неэффективно.

В работе Р. Н. Валиева и др. показано повышение абсолютного электрического КПД цикла ПТУ К-325-23,5 при включении ПКТН в систему регенеративного подогрева на 0,7 %, тогда как в варианте с АБТН повышение составляет 2,6 %.

Также возможно включение АБТН в схему ТЭЦ с ПГУ. В таком варианте в качестве высокопотенциального источника теплоты используется горячая вода, получаемая на дополнительной поверхности нагрева в котле утилизаторе. Полученный поток энергии используется для нагрева конденсата перед его последующим нагревом в газовом подогревателе конденсата перед подачей в деаэрактор. При этом возникает дополнительный положительный эффект: увеличение тепловой мощности газового подогревателя сетевой воды, который является последней поверхностью нагрева по ходу дымовых газов, на 12–14 % в зависимости от режима.

Многие исследователи также указывают условия, при которых внедрение ТН показывает свою эффективность.

Шаталов И.К. рассматривает добавочной цикловой воды в ПКТН вместо традиционно принятого подогрева паром отбора будет эффективным при усло-

вии, что количество выработанной энергии на паре отбора превышает потребление электрической энергии ПКТН. В расчетах получено, что в зимний период данное соотношение составляет 1,8, а в летний 3,5. При подборе ПКТН следует обращать внимание на соотношение стоимости тепловой и электрической энергии, и исходя из этого задавать минимально оправданные экономически коэффициенты преобразования ПКТН.

Проведенное в БНТУ исследование параметров АБТН для внедрения в тепловую схему ТЭЦ с турбинами ПТ-60-130 для получения дополнительного потока на подогрев сетевой воды показало, что экономически эффективна установка машины с отопительным коэффициентом не ниже 1,7, при условии обеспечения простого срока окупаемости не более 4 лет. Очевидно, что срок окупаемости инвестиций зависит и от числа часов работы оборудования с номинальной мощностью. Капитальные вложения в абсорбционные тепловые насосы окупаются в обоснованные сроки при их работе не менее 3,0 тысяч часов в год для промышленных потребителей. Парокомпрессионные – для всех типов потребителей при их работе более 4,0 тысяч часов в год и только при величине отопительного коэффициента превышающим значение 5.

Основная масса исследований возможности утилизации низкотемпературных тепловых потоков на ТЭС – их использование для нагрева сетевой воды, а также подпиточной воды. Применительно к регенеративному их использованию, подробно изучены и внедрены только частные случаи – для паровых турбин К-300.

Внедрение ТН в схему ТЭС позволяет повышать эффективность использования топлива, т. е. снижать расход топлива на выработку единицы энергии по сравнению с традиционными схемами производства, и, соответственно, снижать стоимость тепловой и электрической энергии. Данный вопрос для Беларуси остается актуальным ввиду зависимости от импорта первичных энергоресурсов.

Не менее важным положительным эффектом применения ТН является снижение нагрузки на окружающую среду.

Все вышелечисленное показывает, что следует уделить больше внимания данной тематике, рассмотреть конкретные примеры паровых турбин ТЭС для определения конкретных возможностей утилизации низкопотенциальных тепловых потоков в условиях ОЭС Беларуси.

В работах БНТУ показано снижение расхода топлива на котельных до 15 % при охлаждении дымовых газов до 40 °С с последующим применением АБТН для нагрева сетевой воды.

Литература

1. Орлов, М. Е. Повышение эффективности ТЭЦ и подключенных к ним городских теплофикационных систем за счет структурно-технологической модернизации: дис. ... докт. техн. наук: 05.14.14 / М. Е. Орлов. – Ульяновск, 2017. – 337 с.
2. Alimgazin. Altai Sh. Heat pump in a new modular configuration to recover low-grade heat emissions at enterprises / Altai Sh. Alimgazin, Saule G. Alimgazina, Mikhail G. Zhumagulov // Web of Conferences. – 2020. – № 178. – P. 1–5.
3. Шидловская, Д. К. Применение абсорбционных тепловых насосов в тепловой схеме турбоустановки Т-180/210-130 / Д. К. Шидловская, Г. Д. Седельников // Международный студенческий научный вестник. – 2016. – № 3. – С. 270–271.
4. Bruckner, S. Industrial waste heat recovery technologies: An economic analysis of heat transformation technologies / S. Bruckner, S. Liu, L. Miro, M. Radspieler, L. F. Cabeza, E. Lavemann // Applied Energy. – 2015. – № 151. – P. 157–167.
5. Шаталов, И. К. Подогрев добавочной цикловой воды с помощью ТНУ / И. К. Шаталов, Ю. А. Антипов // Вестник РУДН. – 2004. – № 1. – С. 60–65.

УДК 697.343

Утилизация тепловых потоков продуваемых непроходных каналов теплограа

Бубырь Т. В.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Повышение эффективности эксплуатации теплопроводов тепловых сетей, размещенных в непроходных каналах, предлагается с помощью организации системы регенеративно-утилизационного теплоиспользования, путем применения принудительной вентиляции этих каналов наружным воздухом и использование тепловых насосов для трансформации теплоты нагретого воздуха до температурного уровня, достаточного для использования в целях теплоснабжения. Определены условия, при которых данная система может быть энергоэффективна, задачи и методы исследования процессов теплопереноса в условиях принудительной вентиляции непроходных каналов. Получены уравнения регрессии для расчета интенсивности теплоотдачи от ограждающих конструкций канала и теплопроводов к продуваемому воздуху. Проведена предварительная технико-экономическая оценка предлагаемых решений.