

УДК 620.97

УТИЛИЗАЦИЯ СБРОСНЫХ ПОТОКОВ ТЕПЛОТЫ НА ЭЛЕКТРОСТАЦИЯХ
ПРЯМОГО СЖИГАНИЯ ТОПЛИВА
UTILISATION OF DIRECT COMBUSTION POWER PLANTS WASTE HEAT

Янчук В. В., магистр техн. наук, Романюк В. Н., д-р техн. наук, профессор,
Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь
V. Yanchuk, Master of Sciences, V. Ramaniuk, Doctor of Technical Sciences, Pro-
fessor, Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

Аннотация. 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. Немаловажным результатом подобных модернизаций, кроме снижения себестоимости отпускаемых тепловой и электрической энергий, является также уменьшение теплового и иного загрязнения окружающей среды, в том числе, дымовыми газами. Ниже приведены результаты проведенных исследований, а также обозначены возможные направления дальнейшей работы по данной тематике.

Abstract. Different low temperature heat flows at thermal power stations coming from steam condensation processes, deep flue gas cooling and technological flows cooling systems are viable to be used for district water or make-up water heating as well as for regenerative condensate water heating. To implement the listed concept absorption and electrically-driven heat pumps should be used. Simple payback period of such a modernization meets the requirements of energy-saving projects implementation. The positive effect of the modernization is not only reduction of heat and electrical energy production costs but also decrease of environmental pollution with heat and flue gases. Results of conducted research and possible directions of future work are given below.

Ключевые слова: низкотемпературные тепловые потоки, тепловая электростанция, тепловой насос, абсорбционный и парокомпрессионный тепловые насосы, регенерация теплоты

Key words: low temperature heat flows, thermal power plant, heat pump, absorption and electrically-driven heat pumps, heat regeneration

ВВЕДЕНИЕ

С ростом общего уровня жизни и количества населения планеты опережающими темпами также растет и энергопотребление. Так, за 10 лет в 2020 году по сравнению с 2010 годом производство электроэнергии в мире выросло на 24 % (рис. 1).

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. 1 приведено изменение роли различных источников энергии в мире при производстве ЭЭ с 1985 по 2020 гг. [1].

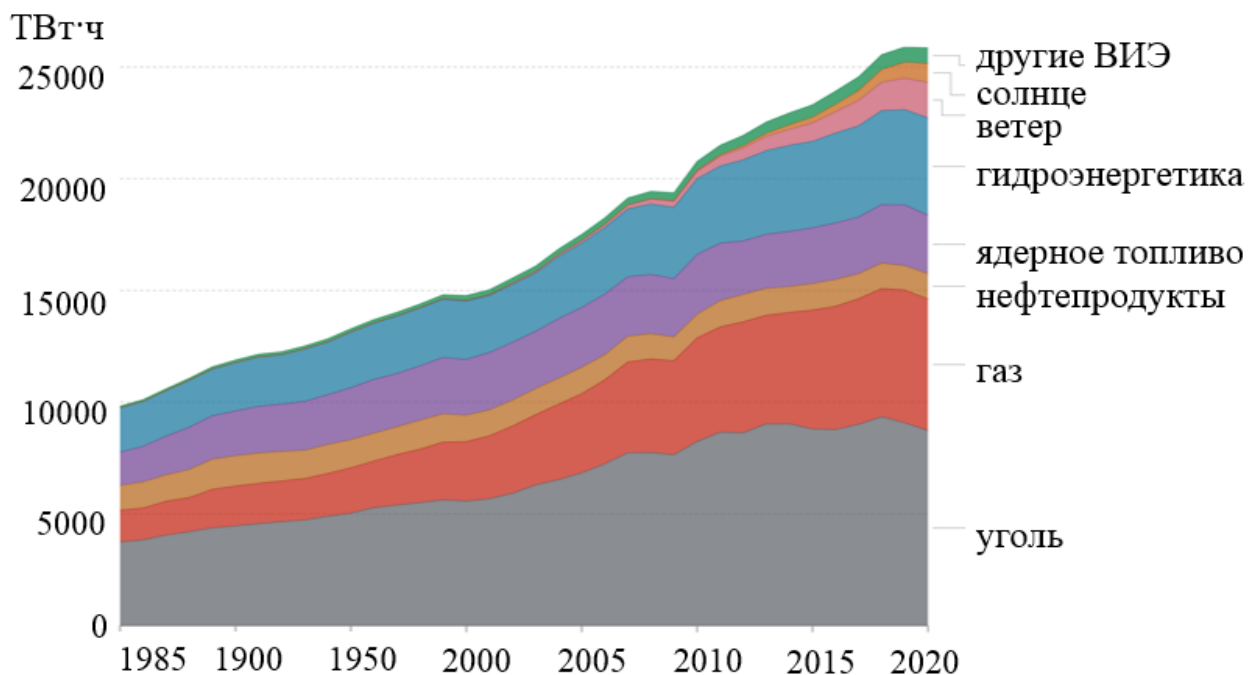


Рисунок 1 – Производство электроэнергии в мире с разбивкой по источникам [1]

Удельный расход условного топлива на 1 кВт·ч отпущенной ОЭС РБ электроэнергии в 2020 году составил 238,5 г [2], 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 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. 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.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

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 [3] 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 [4] 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 [5].

В работе [6] 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 [7].

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 [8]. 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 [9].

При увеличении 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 [10]. Согласно [11], 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 составляет 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, 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 [12]. Простой срок окупаемости модернизации составляет порядка 3 лет. В то же время, альтернативное использование ПКТН в схеме ТЭС неэффективно [12].

В работе [13] 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 [14]. 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 деаэратор. 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.

Подогрев добавочной цикловой воды в ПКТН вместо традиционно принятого подогрева паром отбора будет эффективным при условии, 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 [15]. При подборе ПКТН следует обращать внимание на соотношение стоимости тепловой и электрической энергии, и исходя из этого задавать минимально оправданные экономически коэффициенты преобразования ПКТН.

Исследование параметров АБТН для внедрения в тепловую схему ТЭЦ с турбинами ПТ-60-130 для получения дополнительного потока на подогрев се-

тевой воды показало, что экономически эффективна установка машины с отопительным коэффициентом не ниже 1,7, при условии обеспечения простого срока окупаемости не более 4 лет [16].

Также срок окупаемости внедрения зависит от числа часов работы оборудования [17]. Капитальные вложения в абсорбционные тепловые насосы окупаются в обоснованные сроки при их работе не менее 3,0 тысяч часов в год для промышленных потребителей, а для остальных типов потребителей и для меньшего числа часов работы. Парокомпрессионные – для всех типов потребителей при их работе более 4,0 тысяч часов в год [18].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

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 станций с паровыми турбинами К-300.

Внедрение ТН в схему ТЭС позволяет повышать эффективность использования топлива, т. е. снижать расход топлива на выработку единицы энергии по сравнению с классическими 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 тепловой нагрузки на окружающую среду, снижение выбросов с дымовыми газами при неизменной выработке энергии. В варианте использования циркуляционной воды конденсатора – снижение расхода циркуляционной воды на градирни, следовательно, снижение затрат электроэнергии на привод циркуляционных насосов, также снижение интенсивности испарения в градирнях за счет подачи более холодной воды, соответственно снижение расхода подпиточной воды.

Все вышеперечисленное 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.

ЛИТЕРАТУРА

1. Electricity mix [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ourworldindata.org/electricity-mix#fossil-fuels-what-share-of-electricity-comes-from-fossil-fuels>. Дата доступа: 14.02.2022.
2. Производство электрической энергии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://belenergo.by/content/deyatelnost-obedineniya/proizvodstvo-elektricheskoy-energii/>. Дата доступа: 14.02.2022.
3. 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.

4. Zhang H. S. Performance analysis of the coal-fired power plant with combined heat and power (CHP) based on absorption heat pumps / H. S. Zhang, H. B. Zhao, Z. L. Li // *Journal of the Energy Institute*. – 2016. – № 89. – P. 70–80.
5. Altai Sh. Alimgazin. 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.
6. Романюк В. Н. Абсорбционные или парокомпрессионные тепловые насосы в схемах ТЭЦ / В. Н. Романюк, А. А. Бобич, С. В. Мальков // *Энергия и менеджмент*. – 2013. – № 4. – С. 18–21.
7. Романюк В. Н. Абсорбционные тепловые насосы в тепловой схеме ТЭЦ для повышения ее энергетической эффективности / В. Н. Романюк, Д. Б. Муслина, А. А. Бобич. и др. // *Энергия и менеджмент*. – 2013. – № 1. – С. 14–19.
8. 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.
9. Ефимов Н. Н. Анализ использования тепловых насосов на тепловых и атомных электростанциях / Н. Н. Ефимов, В. В. Папин, П. А. Малышев, Р. В. Безуглов // *Известия ВУЗов. Северо-кавказский регион*. – 2010. – № 4. – С. 35–39.
10. Романюк В. Н. Численное исследование тепловых схем ТЭЦ с помощью их топологических моделей / В. Н. Романюк, А. А. Бобич // *Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. Объединений СНГ*. – 2016. – Т. 59, № 4. – С. 376–390.
11. Pashka V. Exergy method in combined system of heat supply thermal power station with district's heat pump / V. Pashka // *Ifost*. – 2013. – № 2. – P. 485–487.
12. Янченко И. В. Влияние абсорбционного теплового насоса на тепловую экономичность ТЭС и АЭС : дис. ... канд. техн. наук : 05.14.14 / И. В. Янченко. – Новочеркасск, 2015. – 180 с.
13. Курнакова Н. Ю. О возможности повышения энергоэффективности тепловой схемы ТЭС с применением теплового насоса / Н. Ю. Курнакова, А. В. Нуждин, А. А. Волохонский // *Вестник ИрГТУ*. – 2018. – № 7. – С. 114–122.
14. Валиев Р. Н. Повышение эффективности парогазовой установки с котлом-утилизатором за счет включения в схему абсорбционного преобразователя теплоты / Р. Н. Валиев, Ш. Г. Зиганшин, Ю. В. Ваньков, Р. Р. Гарипов // *Проблемы энергетики*. – 2017. – Т.19, № 11–12. – С. 101–111.
15. Шаталов И. К. Подогрев добавочной цикловой воды с помощью ТНУ / И. К. Шаталов, Ю. А. Антипов // *Вестник РУДН*. – 2004. – № 1. – С. 60–65.
16. Романюк В. Н. Обоснование параметров АБТН для утилизации ВЭР на ТЭЦ с помощью пассивного эксперимента и определение соответствующих изменений различных оценок работы энергосистемы / В. Н. Романюк, А. А. Бобич // *Энергия и менеджмент*. – 2016. – № 1. – С. 14–23.

17. Романюк В. Н. Развитие энергосбережения на котельных за счет утилизации низкотемпературных тепловых потоков охлаждения уходящих дымовых газов / В. Н. Романюк, А. А. Бобич / Энергоэффективность. – 2020.

18. 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.