

В. Ю. Митяков [и др.] // Вестн. Рыбин. гос. авиац. технол. акад. им. П. А. Соловьева. – 2018. – № 1 (44). – С. 14–21.

УДК 621.311.22:697.34:005.93

ОЦЕНКА ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ БЕЛАРУСИ

В. Н. Романюк, А. А. Бобич

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

Впервые на базе эксергетического метода и соответствующего эксергетического КПД проведена оценка термодинамической эффективности работы как для всей Белорусской энергосистемы в целом, так и для конденсационных электростанций в отдельности, за достаточно протяженный период с 2000 по 2021 г. за разные характерные периоды времени. Рассмотрена динамика изменения количественной оценки термодинамической эффективности энергосистемы Беларуси как за последние двадцать лет, так и за годовой, отопительный и межотопительный периоды 2021 г. Показаны изменения упомянутых показателей, связанные с вводом в строй Белорусской АЭС. Сделан вывод о целесообразности рассмотрения работ по дальнейшей реконструкции энергоисточников энергосистемы с целью достижения относительного веса природного газа в приходной части энергобаланса до значений не выше 50 % путем повышения ее термодинамической эффективности, снизившихся с вводом в строй Белорусской АЭС.

Ключевые слова: энергосистема Беларуси, термодинамическая эффективность, эксергетический КПД, Белорусская АЭС.

THERMODYNAMIC EFFECTIVENESS ASSESSMENT OF THE BELARUSIAN POWER SYSTEM

V. N. Romaniuk, A. A. Bobich

Belarusian national technical university, Minsk

This paper shows novel thermodynamic effectiveness assessment based on exergy method and exergy efficiency of the Belarussian power grid as well as separate condensing power plants from 2000 till 2021. Quantitative evaluation of trends in Belarussian power grid thermodynamic effectiveness over last 20 years as well as for last year and heating and non-heating seasons are given. The changes in the mentioned indicators with the commissioning of the Belarussian NPP are shown. It is concluded that future work on power sources modernization within the power system is reasonable and the aim is to lower natural gas consumption to 50% of all primary energy sources and to improve the power system thermodynamic efficiency, that had a light decrease with Belarussian NPP commissioning.

Keywords: of the Belarussian power system; thermodynamic effectiveness, exergy efficiency; Belarussian NPP.

Энергетическую эффективность теплоэнергетических систем в подавляющем большинстве случаев принято оценивать по удельным расходам условного топлива на производство преобразованных энергопотоков: электрической и тепловой энергии. Упомянутые показатели традиционны и достаточно удобны для энергетических систем с однородным оборудованием в случаях, когда в качестве первичного энергоресурса используется только органическое топливо. Если же в системе используются источники раздельной генерации электрической и тепловой энергии, а также используются источники комбинированного производства преобразованных энерго-

74 Секция 5. Энергосберегающие технологии и альтернативная энергетика

потоков, при этом имеет место использование различных первичных энергоресурсов (органическое и ядерное топливо, альтернативные источники энергии, побочные энергоресурсы, органические отходы промышленного и сельскохозяйственного производств), оценка таких сложных энергосистем по удельным расходам условного топлива на производство электрической и тепловой энергии теряет однозначность. Требуется иметь более универсальный индикатор энергетической эффективности. В этом качестве можно использовать термодинамические потенциалы, обладающие чрезвычайно важным свойством идентификации вида работы (механической, электрической и других видов в тех или иных условиях) [1, 2]. О целесообразности использования такого индикатора в технических приложениях указывал еще в 1928 г. академик В. И. Вернадский в своей работе «О задачах и организации прикладной научной работы АН СССР», что подчеркивает В. М. Бродянский в монографии [3].

В работе [3] анализируются методики оценки и термодинамической оптимизации технических систем преобразования энергии на базе эксергетических показателей, а также вопросы сравнения эффективности, комбинированной и отдельной выработки преобразованных энергопотоков с помощью эксергетического метода. Вместе с тем информации о применении соответствующих показателей на базе эксергетического метода оценки для больших энергетических систем с многоукладной структурой в общедоступной литературе нами не найдено. При этом следует отметить, что для отдельных технических систем методика эксергетического анализа достаточно хорошо отработана [2–10]. Детально методика оценки термодинамической эффективности энергосистемы приведена в [11–13].

Расчеты эксергетического коэффициента полезного действия (КПД) работы Белорусской энергосистемы проведены за период 2000–2021 гг. на базе данных годовых статистических отчетов. На рис. 1 приведена динамика изменения эксергетического КПД энергосистемы за указанный период на фоне данных по традиционным характеристикам (удельных расходов топлива), используемых для оценки работы энергетического оборудования.

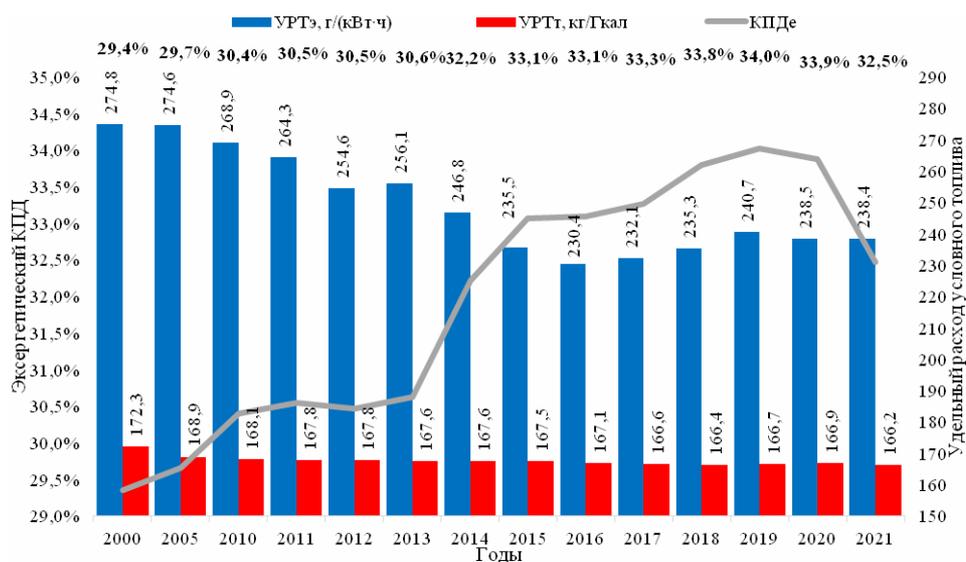


Рис. 1. Изменение энергетических и термодинамических показателей работы энергосистемы Беларуси в период 2000–2021 гг.:

УРТэ – удельный расход условного топлива на отпуск электроэнергии, г/кВт · ч;

УРТт – удельный расход условного топлива на отпуск тепловой энергии, кг/Гкал;
КПДе – эксергетический КПД

Из анализа приведенных на рис. 1 данных следует, что увеличение эксергетического КПД с 29,4 до 34,0 % объединенной энергетической системы Беларуси объективно отражает ее техническое перевооружение за рассматриваемые годы. Однако с вводом в эксплуатацию Белорусской АЭС энергетическая эффективность энергосистемы снизилась на 1,4 до 32,5 % в 2021 г., что ожидаемо, исходя из характеристик электроисточников. Однако экономически это целесообразно, поскольку АЭС вытесняет из оборота существенно более дорогой вид топлива – природный газ. Вместе с тем отмеченное снижение термодинамической эффективности работы энергосистемы указывает на необходимость дальнейшего развития энергосистемы с тем, чтобы восстановить значение этого объективного индикативного показателя. Это важно для уменьшения потребления природного газа, вес которого с вводом АЭС снижается с 97 до 59 % [14], но остается доминирующим первичным энергоресурсом энергосистемы и превышает порог 50 % установленный для этого показателя энергетической безопасности.

Литература

1. К вопросу оценки термодинамической эффективности Белорусской энергосистемы / Е. О. Воронов [и др.] // Энергия и менеджмент. – 2016. – № 3 (90). – С. 2–7.
2. Бродянский, В. М. Эксергетический метод термодинамического анализа / В. М. Бродянский. – М. : Энергия, 1973. – 296 с.
3. Бродянский, В. М. Эксергетический метод и его приложения / В. М. Бродянский, В. Фратшер, К. Михалек. – М. : Энергоатомиздат, 1988. – 288 с.
4. Шаргут, Я. Эксергия / Я. Шаргут, Р. Петела – М. : Энергия, 1968. – 273 с.
5. Сажин, Б. С. Эксергетический метод в химической технологии / Б. С. Сажин, А. П. Булеков. – М. : Химия, 1992. – 208 с.
6. Сорин, М. В. Методика однозначного определения эксергетического КПД технических систем преобразования энергии и вещества / М. В. Сорин, В. М. Бродянский // Изв. вузов. Энергетика. – 1985. – № 3. – С. 78–88.
7. Kriese, S. Exergie in der Kraftwerkstechnik. Leistungskraftwerke-Dampfkraftwerke-Gasturbinen-Warme-Kraft-Kopplung / S. Kriese. – Essen : Vulkan, 1971. – 148 с.
8. Mujanovic, R. Bila s parnog bloka po drugom zakonu termodinamike / R. Mujanovic // Termotechnika. – 1977. – N 3. – P. 56–67.
9. Pruschek, R. Exergetische Analyse eines Kernkraftswerke / R. Pruschek // BWK. – 1970. – N 1. – P. 64–70.
10. Siegel, K. Exergieanalyse heterogenen Leistungsreaktoren / K. Siegel // BWK. – 1970. – N 9. – P. 434–440.
11. Романюк, В. Н. Оценка термодинамической эффективности функционирования энергосистемы Беларуси в условиях работы Белорусской АЭС / В. Н. Романюк, А. А. Бобич // Энергия и менеджмент. – 2016. – № 4 (91). – С. 2–9.
12. Андриященко, А. И. Показатели эффективности сложных систем энергоснабжения и взаимосвязь между ними / А. И. Андриященко // Энергосбережение в городском хозяйстве, энергетике, промышленности : материалы четвертой Рос. науч.-техн. конф., Ульяновск, 24–25 апр. 2003 г. / Ульян. гос. техн. ун-т. – Ульяновск, 2003. – С. 12–14.
13. Бобич, А. А. Комплекс энергосберегающих мероприятий на ТЭЦ при адаптации к условиям работы энергосистемы с вводом Белорусской АЭС : дис. ... канд. техн. наук : 05.14.14 / А. А. Бобич. – Минск, 2018. – 224 с.
14. Повышение энергетической эффективности и снижение энергетической составляющей себестоимости продукции теплоэнергетических и теплотехнических производств в современных условиях / М. П. Малащенко [и др.] // Энергоэффективность. – 2019. – № 8. –

УДК 620.97

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЭЦ ЗА СЧЕТ
РЕГЕНЕРАТИВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СБРОСНЫХ ПОТОКОВ
ТЕПЛОТЫ НА ПРИМЕРЕ ЦИКЛА ПТ-60**

В. В. Янчук, В. Н. Романюк

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

На производственных и производственно-отопительных ТЭЦ невозврат конденсата промышленного отбора в ряде случаев достигает 60 % и более. Для таких станций предложено использовать низкопотенциальные тепловые потоки для подогрева потока подпиточной воды в тепловом насосе. Приведено описание и результаты расчета схемы с паровым обогревом АБТН. Показано, что электрический КПД станции с паровой турбиной ПТ-60 при этом увеличивается на 1,3 % при полном невозврате конденсата.

Ключевые слова: ТЭЦ; ПТ-60, низкотемпературные тепловые потоки, абсорбционный тепловой насос, энергосбережение.

**CHP EFFICIENCY INCREASE BY WASTE HEAT FLOWS
REGENERATIVE UTILIZATION AS IN THE CASE
OF STEAM TURBINE ST-60**

V. V. Yanchuk, V. N. Romaniuk

Belarusian national technical university, Minsk

Condensate return rate at CHPs with industrial and industrial-and-heating steam extractions in some cases reaches 60% and more. It is proposed to use low temperature heat flows in heat pumps to heat up the make-up water flow. The thermodynamic system description and calculation results for steam-driven absorption heat pump are given. The electrical efficiency of the power plant increases by 1,3% in case with complete condensate non-recovery.

Keywords: CHP, steam turbine ST-60, low temperature heat flows, absorption heat pump, energy saving.

В 2020 г. 97,2 % всей электроэнергии в Республике Беларусь было выработано на тепловых электрических станциях (ТЭС) и менее 3 % пришлось на долю возобновляемых источников и атомной электростанции (АЭС) [1].

Соответственно, основная доля электроэнергии в Беларуси производится из органического топлива. После полного ввода Белорусской атомной станции в эксплуатацию доля природного газа в энергобалансе снизится до 57 %, что тем не менее составляет значительную часть и требует дальнейшей работы по повышению эффективности использования природного газа.

В балансе источников, работающих на органическом топливе, 46,7 % произведенной электроэнергии приходится на теплоэлектроцентрали (ТЭЦ) и 42,2 % – на конденсационные электростанции (КЭС) [1].

При этом паротурбинные циклы составляют преимущественную долю среди циклов ТЭС ОЭС Республика Беларусь. И среди них наиболее распространенным типом турбоагрегата является ПТ-60 и его развитие (ПТ-65, ПТ-70 и ПТ-80). Соответственно, в первую очередь, следует рассмотреть возможность и эффективность регенеративного использования низкопотенциальных сбросных тепловых потоков