

V. S. Kostarev, O. L. Tashlykov, V. A. Klimova
Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург
slavakostarev@yandex.ru

ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ В СИСТЕМЕ ПАРОТУРБИННОЙ УСТАНОВКИ АЭС С РЕАКТОРАМИ НА БЫСТРЫХ НЕЙТРОНАХ ДЛЯ УТИЛИЗАЦИИ СБРОСНОЙ ТЕПЛОТЫ

В работе рассмотрены пути повышения энергоэффективности АЭС с реакторами на быстрых нейтронах за счет утилизации низкопотенциальной сбросной теплоты. Проведено обобщение практических результатов утилизации низкопотенциальной тепловой энергии тепловых и атомных электростанций с использованием тепловых насосов. Выполнен анализ эффективности утилизации сбросной теплоты от различных систем АЭС.

Ключевые слова: *энергоэффективность; атомная электростанция; тепловой насос; сбросная теплота.*

V. S. Kostarev, O. L. Tashlykov, V. A. Klimova
Ural Federal University, Ekaterinburg

THE USE OF HEAT PUMPS IN THE STEAM TURBINE SYSTEM OF A NPP WITH A FAST NEUTRON REACTOR FOR THE UTILIZATION OF WASTE HEAT

The paper considers ways of energy efficiency increasing of NPPs with fast neutron reactors due to the utilization of low-grade waste heat. The results of practical implementation of the utilization of low-grade thermal energy of thermal and nuclear power plants using heat pumps are generalized. The analysis of the utilization efficiency of waste heat from various NPP systems was performed.

Key words: *energy efficiency; nuclear power plant; heat pump; waste heat.*

На сегодняшний день атомные и тепловые электрические станции составляют большую часть энергетической системы России

(около 67 %). Поэтому при эксплуатации ТЭС и АЭС необходимо учитывать фактор теплового загрязнения окружающей среды, который приводит к значительным последствиям для экологии, причем как в локальном, так и в глобальном масштабе.

Потребляемая производственными и административно-бытовыми зданиями АЭС тепловая мощность может достигать нескольких мегаватт. Утилизация сбросной теплоты с использованием тепловых насосов может позволить повысить энергоэффективность станции и уменьшить тепловое загрязнение среды.

В качестве возможного источника низкопотенциального тепла в данной работе был рассмотрен четвертый энергоблок Белоярской АЭС с реактором БН-800. Источниками низкопотенциальной теплоты на энергоблоке БН-800 являются вспомогательные системы, охлаждаемые промежуточным контуром. В табл. 1 приведены данные по возможным источникам низкопотенциальной теплоты. Для определения температур и расходов были использованы данные проектных материалов и [1].

Таблица 1

Расходы охлаждающей воды и температурные характеристики некоторых потребителей системы промконтура

Наименование потребителя	Т вх./вых. промконтура, 0С	Кол-во рабочих / резервных	Расход охлаждающей воды, м ³ /ч
Охладитель выпара расширителя дренажей	16,5/17,2	1	140
Воздухоохладители возбуждителя	16,5/19,1	4	150 (4×37,5)
Охладители обмотки статора генератора	16,5/37,9	1/1	600
Охлаждение основных питательных насосов ПЭН	17,1/18,1	3/1	262,4 (4×65,6)
Охлаждение предвключенных питательных насосов ПЭН	17,4/18,3	3/1	105,6 (4×26,4)
Охладитель грязного конденсата	16,5/26,5	1	400

Расчеты по определению тепловых сбросов производились по формуле:

$$Q = G \cdot c_p \cdot (t_{\text{вых}} - t_{\text{вх}}), \quad (1)$$

где G – расход технической воды, c_p – удельная теплоемкость воды, $t_{\text{вых}}$ и $t_{\text{вх}}$ – температуры на входе и на выходе источника соответственно.

Результаты расчетов приведены на рис. 2. Из них можно сделать вывод, что наиболее эффективным возможным источником тепла является система охлаждения обмотки статора генератора (тепловая мощность 14 905,1 кВт при перепаде температур 21,4 °С).

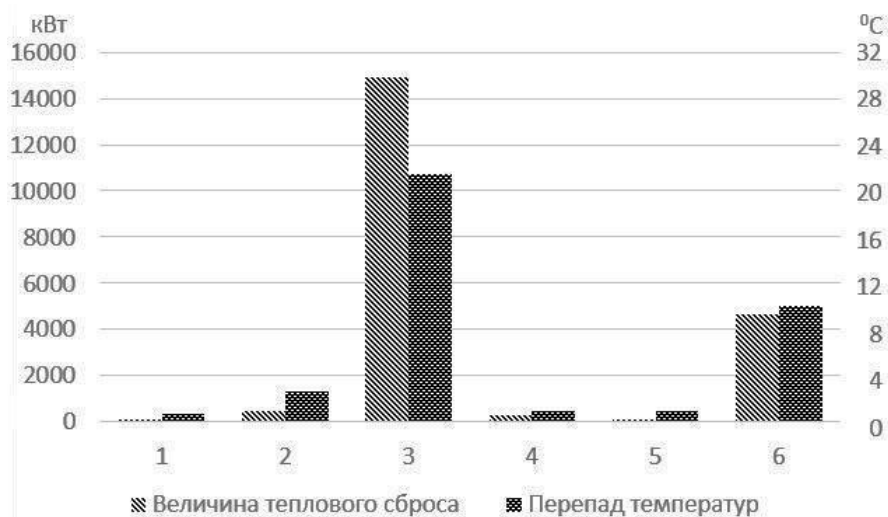


Рис. 2. Тепловые сбросы и перепады температур вспомогательных систем энергоблока БН-800: 1 – охладитель пара расширителя дренажей, 2 – воздухоохладители возбуждателя, 3 – охладители обмотки статора генератора, 4 – охлаждение основных питательных насосов ПЭН, 5 – охлаждение основных предвключенных насосов ПЭН, 6 – охладитель грязного конденсата

Для данного перепада температур и мощности теплового насоса 3 МВт были рассчитаны несколько вариантов парокompрессионных тепловых насосов с разными хладагентами по методике, описанной в [2]. Результаты расчетов приведены в табл. 2. В результате расчетов было установлено, что наиболее эффективным хладагентом является фреон R142b (коэффициент преобразования теплоты 4,884 при эксергетическом КПД 0,414).

Применение тепловых насосов для утилизации низкопотенциального тепла на энергоблоке БН-800 будет иметь следующие положительные моменты:

– уменьшение отбора пара из тепловой схемы блока, что приведет к дополнительной выработке энергии при неизменных затратах на производство;

– уменьшение тепловых выбросов в окружающую среду.

Таблица 2

Коэффициент преобразования теплоты и эксергетический КПД тепловых насосов с разными хладагентами

Хладагент (фреон)	Коэффициент преобразования теплоты, μ	Эксергетический КПД, $\eta_{\text{э}}$
R12	1,638	0,151
R113	1,670	0,154
R114	3,051	0,271
R123	3,943	0,342
R142b	4,884	0,414

В настоящее время ведется работа по расчетному обоснованию экономической эффективности утилизации сбросной теплоты вспомогательных систем энергоблока АЭС с реактором на быстрых нейтронах БН-800 и проектируемого блока с реактором БН-1200.

Список использованных источников

1. Атомные электростанции с реакторами на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем : учебное пособие. В 2 ч. Ч. 1 / А. И. Бельтюков, А. И. Карпенко, С. А. Полуяктов, О. Л. Ташлыков, Г. П. Титов, А. М. Тучков, С. Е. Щеклеин. Екатеринбург : УрФУ, 2013. 548 с.
2. Тепловые насосы : учебное пособие / П. А. Трубаев, Б. М. Гришко. Белгород : Изд-во БГТУ, 2010. 143 с.
3. Семенов М. Ю., Ковин И. В., Ташлыков О. Л. Анализ возможности утилизации низкопотенциальной теплоты с использованием теплового насоса в паротурбинном контуре АЭС с реактором на быстрых нейтронах // Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии : сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции и выставки работ студентов, аспирантов и молодых ученых (22–26 ноября 2010 г.). Екатеринбург : УрФУ, 2010. С. 399–402.
4. Семенов М. Ю., Ташлыков О. Л. Оценка использования тепловых насосов в схеме АЭС с целью снижения тепловых сбросов в окружающую среду // Энергетика настоящего и будущего : сборник материалов I Евроазиатской выставки и конференции 16–18 февраля 2010 г. Ч. 2. Екатеринбург : УГТУ-УПИ, 2010. С. 28–30.