

УДК 621.311

DOI 10.22213/2410-9304-2018-4-24-31

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ ПУТЕМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ НА ОБЪЕКТАХ ЭНЕРГЕТИКИ

А. А. Кисляков, кандидат технических наук, доцент, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

Н. К. Симаков, студент, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

М. А. Кисляков, студент, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

Исследования, приведенные в работе, направлены на разработку новых технических решений по использованию абсорбционных тепловых насосов в существующих технологических циклах электростанций на примере конденсационных энергоблоков тепловых электрических станций мощностью 300 МВт, позволяющих повысить их тепловую экономичность.

Изучение проблемы, связанной с потерями тепловой энергии и обеспечения эффективности работы основного энергетического оборудования на электростанциях, способствовало развитию научно-исследовательских направлений в данной области, о чем свидетельствуют многочисленные теоретические и технические решения по оптимизации тепловых схем электрических станций.

Актуальность работы заключается в разработке научно обоснованных технических решений, направленных на повышение тепловой экономичности работы тепловых электрических станций, за счет применения абсорбционных тепловых насосов.

В настоящей статье приведено теоретическое обоснование применения тепловых насосов в схемах паротурбинных установок. Проведено исследование целесообразности применения парокомпрессионного теплового насоса в схемах тепловых электрических станций. Предложены новые схемные решения применения теплового насоса в технологических циклах тепловых электрических станций.

Общим итогом выполнения исследовательской работы являются научно обоснованные технические решения, способствующие повышению тепловой экономичности тепловых электрических станций за счет применения абсорбционных тепловых насосов в составе регенеративного цикла паротурбинной установки, ступени низкого давления паровой турбины и системы технического водоснабжения энергоблоков.

Разработаны новые схемные решения для технологических циклов электростанций, которые отличаются от известных применением конденсационного контура абсорбционного бромисто-литиевого теплового насоса в системе регенерации паротурбинной установки тепловых электрических станций.

Ключевые слова: эффективность энергоснабжения, электрическая энергия, тепловая схема, технологический цикл.

Введение

Конденсационные тепловые электрические станции (ТЭС) составляют большую часть энергетической системы России (около 67 %). Коэффициент полезного действия (КПД) таких электростанций, как правило, не превышает для ТЭС – 40 %. Величина КПД конденсационных ТЭС обусловлена особенностями технологического процесса, однако влияние на ее изменение могут оказывать и отличные от номинальных режимы работы электростанции, и физический износ энергетического оборудования.

ТЭС, как правило, работает на высоких и сверхвысоких параметрах пара, но при переменных режимах ее оборудование работает на более низких начальных параметрах пара, что влечет за собой снижение номинальной мощности энергоблоков и, как следствие, тепловой экономичности электростанции в целом.

В настоящее время предлагаются различные способы применения и подключения тепловых насосов, обеспечивающих оптимизацию сетевых установок и систем технического водо-

снабжения ТЭС. Обеспечение эффективности работы рассматриваемых систем выполняется путем применения тепловых насосов парокомпрессионного типа (ПКТН), позволяющих обеспечить перераспределение тепловых потоков между подогревателями и снизить утечки тепловой энергии в холодных источниках [1–4].

Различают два вида тепловых насосов:

- парокомпрессионные (ПКТН);
- абсорбционные (АБТН).

Целесообразность применения тепловых насосов в схемах ТЭС

С целью повышения эффективности работы конденсационных ТЭС при номинальных и переменных режимах предлагаются различные варианты применения высокоэффективного теплонасосного оборудования. Наиболее распространенным вариантом является применение тепловых насосов парокомпрессионного типа (ПКТН), характеризующихся высокими коэффициентами трансформации. Однако на крупных энергетических объектах наиболее целесообразным является применение абсорбционных

тепловых насосов (АБТН), которые, в отличие от первых, характеризуются наименьшими затратами энергии на собственные нужды, что является особенно актуальным при сжигании дорогостоящих топлив органического происхождения.

Принцип действия парокompрессионного теплового насоса основан на способности рабочего тела – хладагента – переносить тепловую энергию. При этом основным элементом преумножения тепловой энергии рабочего тела является компрессор. Подвод низкопотенциальной теплоты осуществляется в испарителе теплового насоса за счет вскипания хладагента при вакууме. При вскипании пары рабочего тела отбирают теплоту от источника энергии и поступают в компрессор, где происходит процесс сжатия и повышения их термодинамических параметров. В конденсаторе пары рабочего тела конденсируются, отдавая свою тепловую энергию потребителю [5, 6]. Несмотря на затраты дополнительной электрической энергии, необходимой для работы компрессора, тепловой насос способен отпустить тепловой энергии в 2,5–5,5 раз больше, что является его неоспоримым достоинством [7–9].

Основными недостатками ПКТН могут являться: ограниченность температурного режима, для тепловых насосов, работающих по одноступенчатому регенеративному циклу, температурный режим составляет 45–58 °С при температуре кипения хладагента в испарителе не ниже 6 °С и затраты дополнительной электрической мощности для привода компрессора [10].

Однако, учитывая затраты энергии на собственные нужды энергоблока при работе компрессора теплового насоса, которые значительно превышают показатели стандартной тепловой схемы на 6024,02–11683,39 кВт, фактические значения установленной мощности и КПД электростанции будут на 0,75–1,4 % ниже относительно традиционной компоновки.

Таким образом, применение ПКТН позволит обеспечить экономичность работы только турбоустановки, за счет повышения ее электрического КПД, но не позволяет увеличить экономичность электростанции в целом из-за повышенных расходов энергии на собственные нужды. Учитывая изложенное, применение ПКТН можно считать нецелесообразным для тепловых станций.

В конструкции абсорбционных тепловых насосов в отличие от парокompрессионного теплового насоса нет составных элементов основного термодинамического цикла, которые требовали

бы значительных дополнительных электрических затрат [11].

Принцип действия АБТН основан на способности раствора-абсорбента поглощать водяные пары, имеющие более низкую температуру, чем раствор. Хладагент – вода кипит под вакуумом на трубном пучке испарителя, за счет теплоты, отводимой от циркулирующей в трубках охлаждаемой среды (источника низкопотенциальной теплоты). Водяные пары поглощаются раствором абсорбента на трубном пучке абсорбера с выделением теплоты, которая отводится циркулирующей в трубках нагреваемой водой. Разбавленный раствор из абсорбера откачивается в генератор, где на трубном пучке осуществляется регенерация (выпаривание) поглощенных в абсорбере водяных паров за счет теплоты греющего теплоносителя. Сконденсированные нагреваемой водой в конденсаторе водяные пары хладагента возвращаются в испаритель, а концентрированный раствор – в абсорбер [12, 13].

В качестве первичного источника энергии АБТН необходим технологический пар с параметрами $P = 0,6$ МПа; $t = 160$ °С, при этом температурный режим, который может обеспечить АБТН, находится, как правило, в пределах 70–90 °С [14, 15]. Затраты тепловой энергии потока водяного пара в генераторе АБТН при пересчете на электрическую мощность, потребляемую компрессором ПКТН, значительно ниже, что делает их более предпочтительными для применения на крупных энергетических объектах [16, 17].

Различают два типа абсорбентов: бромистолитиевый и хлористолитиевый растворы. Хлористолитиевый раствор предназначен для использования в открытых гелиоабсорбционных системах и позволяет обеспечить холодопроизводительность установки с температурой до –15 °С при температуре греющей среды 85 °С [18]. Бромистолитиевый раствор предназначен для использования в абсорбционных установках закрытого типа. Нашел широкое применение в промышленных абсорбционных установках. Позволяет обеспечить холодопроизводительность с температурой 4–8 °С при температуре греющей среды 150–160 °С [19].

Недостатком АБТН может являться невысокая величина коэффициента трансформации 1,6–2,1 по сравнению с ПКТН [20].

Выбор вариантов схемных решений по применению АБТН в технологическом цикле ТЭС, основывался:

– на технических характеристиках существующих абсорбционных тепловых насосов боль-

шой мощности (единичная тепловая мощность, температурный предел нагреваемой среды, расход пара на генератор теплового насоса);

- температурных режимах работы регенеративных и сетевых подогревателей;
- тепловой мощности регенеративных и сетевых подогревателей;
- возможности применения абсорбционного теплового насоса в технологическом цикле ТЭС без кардинальных изменений существующей тепловой схемы энергоблока.

Например, технологический цикл ТЭС с турбоустановкой К-300-240-2 Харьковский турбогенераторный завод (ХТГЗ) характеризуется тем, что, как правило, первые два регенеративных подогревателя низкого давления и нижний сетевой подогреватель отопительной установки (в отопительный период) работают в диапазоне температур 60–90 °С. Промышленный АБТН способен обеспечивать температурный режим высокопотенциальной рабочей среды в диапа-

зоне 70–90 °С. Кроме температурного режима было уделено внимание тепловой мощности АБТН необходимой для обеспечения работоспособности подключаемого к нему энергетического оборудования, так как именно от нее зависит экономичность работы самой теплонасосной установки и энергоблока в целом.

При поиске наиболее оптимального решения по подключению регенеративных и сетевых подогревателей тепловой схемы ТЭС к высокопотенциальному контуру абсорбционного теплового насоса, были выполнены предварительные расчеты следующих схемных вариантов:

- подключение к конденсационному контуру теплового насоса первого ПНД и НСП сетевой установки (рис. 1, а);
- подключение к конденсационному контуру теплового насоса двух первых ПНД и НСП сетевой установки (рис. 1, б);
- подключение к конденсационному контуру теплового насоса двух первых ПНД (рис. 1, в).

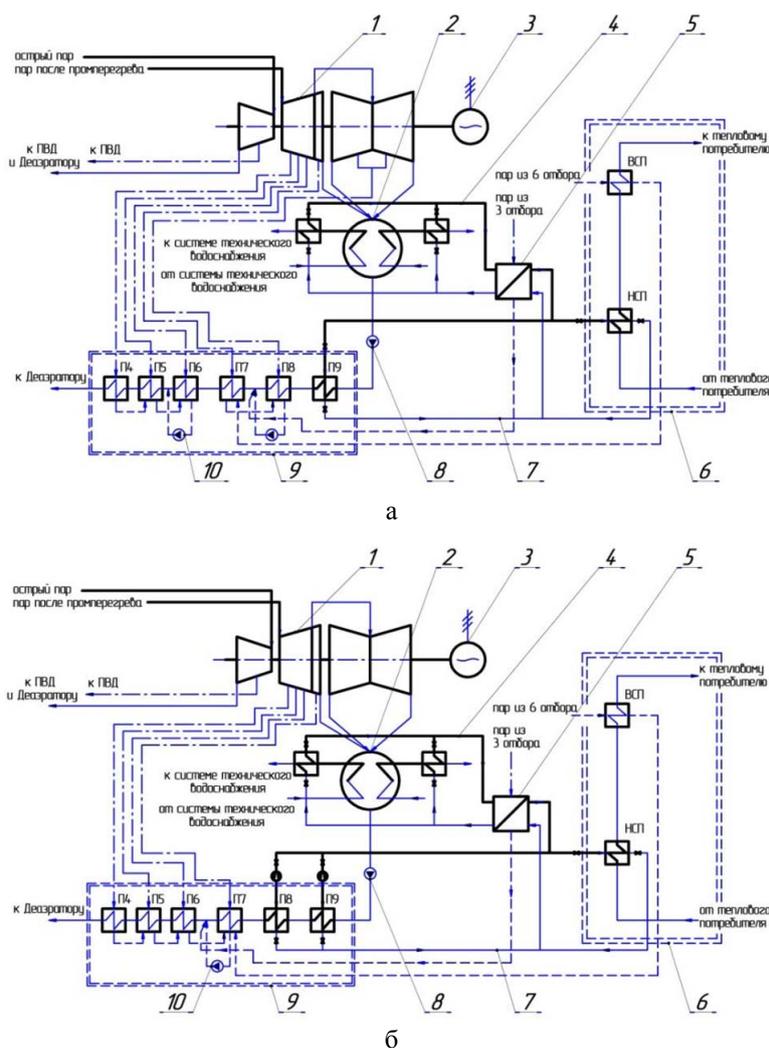


Рис. 1. Схемные решения по подключению абсорбционного теплового насоса к технологическому циклу ТЭС (окончание на с. 27)

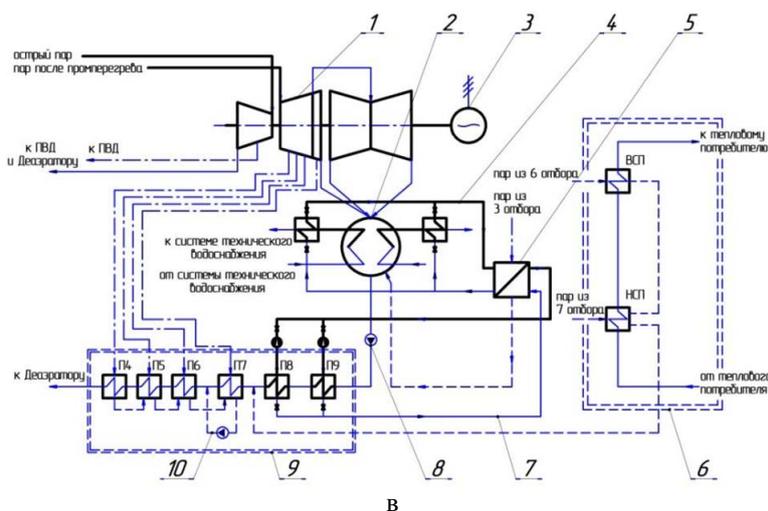


Рис. 1. Окончание: 1 – паровая турбина; 2 – конденсатор паровой турбины; 3 – турбогенератор; 4 – испарительный контур теплового насоса; 5 – абсорбционный тепловой насос; 6 – сетевая установка; 7 – конденсационный контур теплового насоса; 8 – конденсатный насос; 9 – группа подогревателей низкого давления (ПНД); 10– дренажный насос (начало на с. 26)

Основным критерием оптимальности при данных расчетах является фактический расход пара на турбоустановку, значительное влияние на который оказывает тепловая мощность производимая АБТН.

Расход пара на генератор абсорбционного теплового насоса определяется по формуле

$$D_{ТН} = \frac{D_{ТН}^{II} \cdot Q_{ТН}}{Q_{ТН}}$$

где $D_{ТН}^{II}$ – расход пара на один тепловой насос, кг/с; $Q_{ТН}$ – расчетная тепловая мощность теплового насоса, МВт; $Q_{ТН}$ – тепловая мощность одного теплового насоса, МВт.

Из формулы видно, что расход пара на АБТН напрямую зависит от его тепловой мощности.

Чем больше величина тепловой мощности теплонасосной установки, тем выше расход пара на нее, и как следствие на весь энергоблок.

По результатам проведенных расчетов получены энергетические показатели, представленные в таблице.

Первый и третий варианты схемных решений (рис. 1, а и в) удовлетворяют критерию оптимальности и могут быть рассмотрены с точки зрения экономичности при дальнейших исследованиях. Однако, если учесть фактор минимального вмешательства в существующий технологический цикл ТЭС, также влияющий на выбор схемы включения АБТН, то третий вариант (рис. 1, в) является нецелесообразным, так как требует серьезного изменения конструкции регенеративной системы энергоблока.

Энергетические характеристики тепловой схемы ТЭС с АБТН

Наименование показателя	Вариант 1 (рис. 1, а)	Вариант 2 (рис. 1, б)	Вариант 3 (рис. 1, в)
Тепловая мощность АБТН, кВт	40381,25	53484,44	33366,46
Расход пара на АБТН, кг/с	10,095	13,371	8,342
Фактический расход пара на турбоустановку, кг/с	237,974	315,177	236,321

Типовая компоновка энергоблока ТЭС и турбины К-300-240-2 ХТГЗ характеризуется использованием шести регенеративных подогревателей низкого давления. При этом пять из них объединены общей системой отвода дренажей, и только первый подогреватель низкого давления (ПНД) имеет собственный контур отвода конденсата греющего пара непосредственно в конденсатор паровой турбины. При подключении первых двух ПНД к конденсационному

контур теплового насоса потребуется серьезная переделка системы регенерации, включающая изменение направления потоков дренажа между подогревателями.

Таким образом, наиболее оптимальным схемным решением является вариант № 1 – подключение АБТН к первому ПНД и НСП сетевой установки, общий вид которого показан на рис. 3.

При работе ТЭС в летний период, когда энергоблок не несет отопительной нагрузки

АБТН, можно подключить к двум первым ПНД системы регенерации.

Анализ полученных энергетических характеристик показывает, что при реализации второго варианта технологической схемы фактический

расход пара на турбоустановку составит 315 кг/с, что согласно техническим характеристикам турбины К-300-240-2 ХТГЗ на 19 % (51 кг/с) превышает максимально возможный пропуск пара, величина которого составляет 264 кг/с (рис. 2) [21].

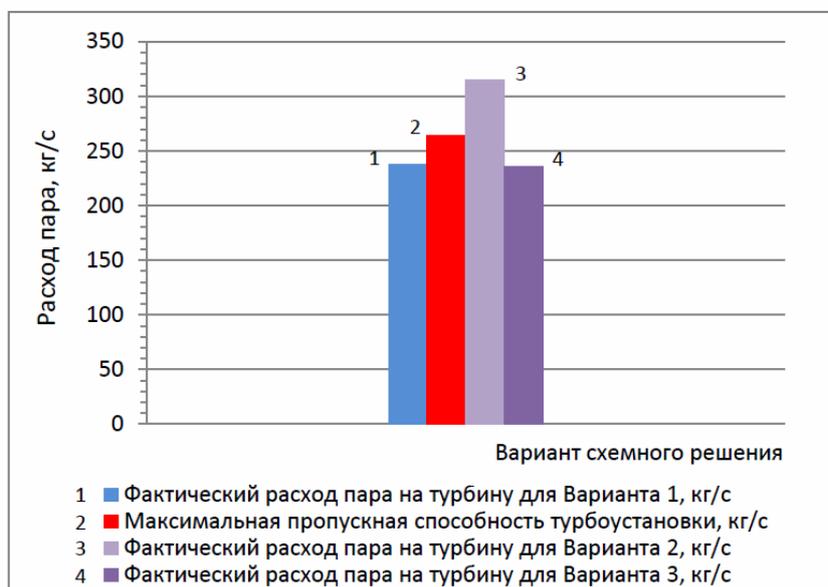


Рис. 2. Изменение величины фактического расхода пара на турбоустановку К-300-240-2 ХТГЗ при применении АБТН

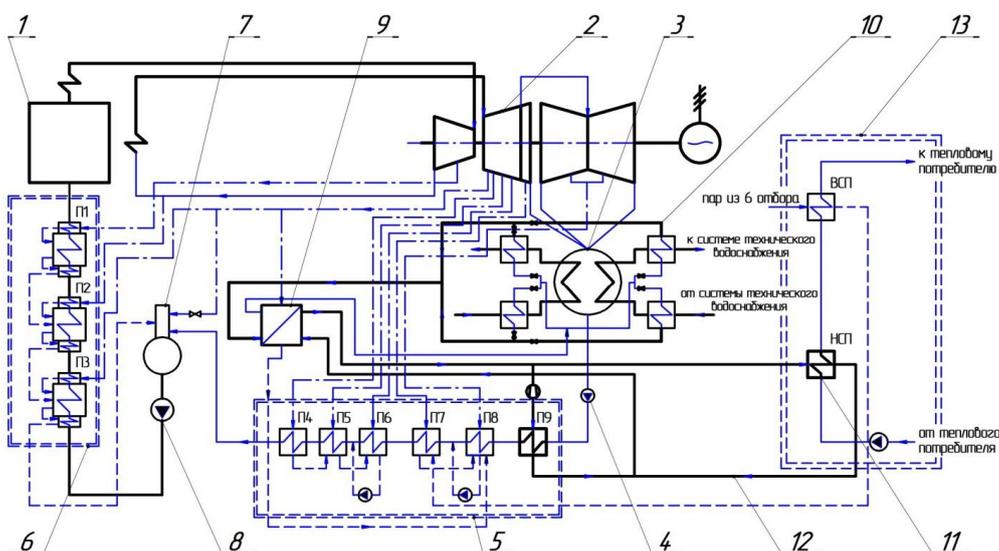


Рис. 3. Принципиальная тепловая схема ТЭС с использованием АБТН: 1 – паровой котел, 2 – паровая турбина, 3 – конденсатор, 4 – конденсатный насос, 5 – группа регенеративных подогревателей низкого давления, 6 – группа регенеративных подогревателей высокого давления, 7 – деаэратор, 8 – питательный насос, 9 – абсорбционный тепловой насос, 10 – испарительный контур абсорбционного теплового насоса, 11 – нижний сетевой подогреватель, 12 – конденсационный контур теплового насоса, 13 – сетевая установка

Предлагаемое схемное решение (рис. 3) может применяться на энергоблоках КЭС и ТЭС другой мощности, работающих в конденсационном режиме. При этом для применения АБТН необходимо будет учитывать максимальную пропускную способность турбоустановки и теп-

ловую мощность, которую должен обеспечить тепловой насос.

Особенностью данного схемного решения, отличающей его от аналогов, является использование АБТН с применением испарительного контура на подающих и отводящих трубопрово-

дах охлаждающей воды конденсатора паровой турбины и возможность подключения первого подогревателя низкого давления системы регенерации к конденсатору АБТН, что в свою очередь позволяет повысить КПД регенеративного цикла на 1,5–1,8 % при работе энергоблока на номинальных нагрузках.

АБТН обеспечивает тепловую мощность как подогревателя системы регенерации (ПНД), так и подогревателя сетевой установки, несущей отопительную нагрузку энергоблока. Пар последнего регенеративного отбора паровой турбины не используется для подогрева основного конденсата системы регенерации, а участвует в выработке электрической мощности, что в конечном итоге будет способствовать повышению КПД электростанции в целом на 0,2 %.

Применение испарительного контура 10 теплового насоса 9 на подающем трубопроводе охлаждающей воды конденсатора 3 паровой турбины 2 будет способствовать поддержанию оптимального значения вакуума в паровом пространстве конденсатора и снижению расхода энергии электростанции на собственные нужды при обслуживании циркуляционной системы.

Выводы

Предложенная технологическая схема включения абсорбционного теплового насоса (АБТН) в тепловую схему ТЭС (на примере энергоблока мощностью 300 МВт), отличающаяся от известных применением конденсационного контура теплового насоса в первом подогревателе низкого давления (ПНД) системы регенерации турбоустановки, позволяет повысить термический КПД регенеративного цикла на 1,6–1,8 % и тепловую экономичность электростанции в целом на 0,1–0,9 %.

Применение абсорбционных тепловых насосов в технологических циклах ТЭС отличается простотой подключения теплонасосного оборудования и минимальным вмешательством в существующий цикл электростанций, способствует значительному повышению общей тепловой экономичности электростанции при ее работе в переменных режимах.

Технико-экономическое обоснование коммерциализации разрабатываемых способов применения абсорбционных тепловых насосов в технологических циклах ТЭС в современных условиях является необходимой задачей для оценки целесообразности вложения инвестиций в рассматриваемые проекты.

Общие рекомендации и обоснования инвестиционных проектов представлены в межотраслевом документе «Методические рекоменда-

ции по оценке эффективности инвестиционных проектов и их отбора для финансирования», рекомендации основаны на методологии, применяемой в современной международной практике.

Рекомендации ориентированы на решение следующих задач:

– оценку реализуемости и эффективности инвестиционных проектов в процессе их разработки;

– обоснования целесообразности участия в реализации инвестиционных проектов заинтересованных предприятий, банков, российских и иностранных инвесторов, федеральных и региональных органов государственного управления;

– сравнения вариантов проекта (в том числе – вариантов, различающихся организационно-экономическим механизмом реализации).

Для крупномасштабных проектов, существенно затрагивающих интересы города, региона или всей страны, рекомендуется обязательно оценивать экономическую эффективность.

Показатели экономической эффективности учитывают затраты и результаты, связанные с реализацией проекта, выходящие за пределы прямых финансовых интересов участников инвестиционного проекта и допускающие стоимостное измерение.

Библиографические ссылки

1. Шаталов И. К., Антипов Ю. А. Подогрев добавочной цикловой воды с помощью ТНУ // Вестник Российского университета дружбы народов. 2004. № 1. С. 60–65.
2. Стерман Л. С., Тевлин С. А., Шарков А. Т. Тепловые и атомные электростанции: учебник для вузов / под ред. Л. С. Стермана. 2-е изд. М. : Энергоиздат, 1982. 456 с.
3. Ефимов Н. Н., Янченко И. В., Скубиенко С. В. Энергетическая эффективность использования абсорбционного бромисто-литиевого теплового насоса в тепловых схемах ТЭС // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. техн. науки. 014. № 1. С. 17–21.
4. Ефимов Н. Н., Янченко И. В., Скубиенко С. В. О целесообразности применения тепловых насосов в схемах электрических станций // Ключови въпроси в съвременната наука. София, 2014. С. 94–101.
5. Варфоломеев Ю. М., Кокорин О. Я. Отопление и тепловые сети : учебник. М. : ИНФРА-М, 2006. 480 с.
6. Смирнов С. С. Исследование режимов работы абсорбционных тепловых насосов совместно с системами тепло-холодоснабжения // Вестник Северо-Кавказского федерального университета. 2011. № 3. С. 94–98.
7. Данилова О. Л., Костюченко П. А. Энергосбережение на предприятиях промышленности и жи-

лично-коммунального хозяйства : практическое пособие. М. : Технопромстрой, 2006. 668 с.

8. Анализ эффективности различных типов водоохлаждающих машин на атомных электростанциях / А. В. Попов, В. Г. Горшков, О. С. Леванов, С. О. Лысцов // Тяжелоемаш. 2010. № 4. С. 13–15.

9. Галимова Л. В. Абсорбционные холодильные машины и тепловые насосы : учеб. пособие. Астрахань : Издательство АГТУ, 1997. 226 с.

10. Данилова О. Л., Костюченко П. А. Энергосбережение на предприятиях промышленности и жилищно-коммунального хозяйства : практическое пособие. 668 с.

11. Исследование и разработка термотрансформаторов сорбционного типа / А. А. Долинский, Ю. Ф. Снежкин, Д. М. Чалаев, В. С. Шаврин // Пром. теплотехника. 2006. № 2. С. 14–19.

12. Варфоломеев Ю. М., Кокорин О. Я. Отопление и тепловые сети : учебник. 480 с.

13. Тепловые насосы в теплоснабжении зданий и сооружений / А. В. Потанин, Д. Г. Закиров, Ю. Н. Чадов, В. А. Николаев // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2008. № 5. С. 321–330.

14. Варфоломеев Ю. М., Кокорин О. Я. Отопление и тепловые сети : учебник. 480 с.

15. Суслов А. В. Теплоснабжение воздушными тепловыми насосами // Сантехника, отопление, кондиционирование. 2012. № 11 (131). С. 44–47.

16. Бабочкин Г. И., Луценко Ю. А. Теплоснабжение сельской школы с использованием тепла грунта при помощи теплового насоса // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2011. № 6-1. С. 9–13.

17. Овсянник А. В., Трошев Д. С. Оценка энергетической эффективности тепловых насосов в системах индивидуального теплоснабжения по годовому расходу условного топлива // Вестник Гомельского государственного технического университета им. П. О. Сухого. 2012. 4 (51). С. 66–72.

18. Бутузов В. А., Томаров Г. В., Шетов В. Х. Геотермальная система теплоснабжения с использованием солнечной энергии и тепловых насосов // Промышленная энергетика. 2008. № 9. С. 39–43.

19. Варфоломеев Ю. М., Кокорин О. Я. Отопление и тепловые сети : учебник. 480 с.

20. Скубиенко С. В., Шелепень С. В., Балтян В. Н. Основы расчета и проектирования ТЭС и АЭС : учеб. пособие / под общ. ред. С. В. Скубиенко. Новочеркасск : ЮРГТУ, 2004. 184 с.

21. Там же.

References

1. Shatalov I.K., Antipov Yu.A. [Heating of additional cyclic water with the help of HPI]. *Vestnik Rossiiskogo universiteta družby narodov*, 2004, no. 2, pp. 60-65 (in Russ.).

2. Serman L.S., Tevlin S.A., Sharkov A.T. *Teplovyie i atomnye elektrostantsii: Uchebnyy dlya vuzov* [Thermal and nuclear power plants] Moscow, Energoizdat Publ., 1982, 456 p. (in Russ.).

3. Efimov N.N., Yanchenko I.V., Skubienko S.V. [Energy efficiency of using an absorption lithium bromide heat pump in thermal schemes of thermal power plants]. *Izv. vuzov. Sev.-Kavk. region. Tekhn. Nauki*, 2014, no. 1, pp. 17-21 (in Russ.).

4. Efimov N.N., Yanchenko I.V., Skubienko S.V. [On the feasibility of using heat pumps in power plant diagrams] *Klyuchovi v "prosi v s"vremennata nauka*, Sofia, 2014, pp. 94-101.

5. Varfolomeev Yu.M., Kokorin O.Ya. *Otoplenie issledovaniya i teplovyie seti zadannym: Uchebnyy* [Heating research and heating networks given]. Moscow, INFRA-M, 2006, 480 p. (in Russ.).

6. Smirnov S.S. [Investigation of efficiency modes of operation of absorption own heat pumps of efficiency in conjunction with heat and cooling supply systems]. *Vestnik Severo Kavkazskogo federal'nogo universiteta*, 2011, no. 3, pp. 94-98. (in Russ.).

7. Danilova O.L., Kostyuchenko P.A. *Energosberezhenie na predpriyatiyakh promyshlennosti i zhilishchno-kommunal'nogo khozyaistva: prakticheskoe posobie* [Energy saving at the enterprises of industry and housing and communal services: a practical guide]. Moscow, Tekhnopromstroi, 2016, 668 p. (in Russ.).

8. Popov A.V., Gorshkov V.G., Levandov O.S., Lystsov S.O. [Analysis of the effectiveness of various types of water-cooling costs of machines at nuclear power plants]. *Tyazh loemash*, 2010, no. 4, pp. 13-15 (in Russ.).

9. Galimova L.V. *Absorbtsionnyye kholodil'nyye mashiny i teplovyie nasosy: Ucheb. posobie* [Absorption chillers and heat pumps] Astrakhan': Izdatel'stvo AGTU, 1997, 226 p. (in Russ.).

10. Danilova O.L., Kostyuchenko P.A. *Energosberezhenie na predpriyatiyakh promyshlennosti i zhilishchno-kommunal'nogo khozyaistva: prakticheskoe posobie* [Energy saving at the enterprises of industry and housing and communal services: a practical guide]. Moscow, Tekhnopromstroi, 2016, 668 p. (in Russ.).

11. Dolinskii A.A., Snezhkin Yu.F., Chalaev D.M., Shavrin V.S. [Research and development of sorption type thermotransformers] *Prom. Teplotekhnika*, 2006, no. 2, pp. 14-19 (in Russ.).

12. Varfolomeev Yu.M., Kokorin O.Ya. *Otoplenie issledovaniya i teplovyie seti zadannym: Uchebnyy* [Heating research and heating networks given]. Moscow, INFRA-M, 2006, 480 p. (in Russ.).

13. Potanin A.V., Zakirov D.G., Chadov Yu.N., Nikolaev V.A. [Heat pumps in the heat supply of buildings and structures]. *Gornyye informatsionno-analiticheskiy byulleten'*, 2008, no. 5, pp. 321-330 (in Russ.).

14. Varfolomeev Yu.M., Kokorin O.Ya. *Otoplenie issledovaniya i teplovyie seti zadannym: Uchebnyy* [Heating research and heating networks given]. Moscow, INFRA-M, 2006, 480 p. (in Russ.).

15. Suslov A.V. [Heat supply by air heat pumps]. *Santekhnika, otoplenie, konditsionirovanie*, 2012, no. 11(131), pp. 9-13 (in Russ.).

16. Babokin G.I., Lutsenko Yu.A. [Rural school heat supply using ground heat using a heat pump], *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki*, 2011, no. 6-1, pp. 9-13 (in Russ.).

17. Ovsyannik A.V., Troshev D.S. [Evaluation of the energy efficiency of air heat pumps in individual heat supply systems based on annual consumption of equivalent fuel]. *Vestnik Gomel'skogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. P.O. Sukhogo*, 2012, no. 4(51), pp. 66-72 (in Russ.).

18. Butuzov V.A., Tomarov G.V., Shetov V.Kh. [Geothermal heating system using solar energy and heat pumps]. *Promyshlennaya energetika*, 2008, no. 9, pp. 39-43 (in Russ.).

19. Varfolomeev Yu.M., Kokorin O.Ya. *Otoplenie issledovaniya i teplovye seti zadannym: Uchebnik* [Heating research and heating networks given]. Moscow, INFRA-M, 2006, 480 p. (in Russ.).

20. Skubienko S.V., Shelepen' S.V., Baltyan V.N. *Osnovy rascheta i proektirovaniya TES i AES: Uchebnoe posobie* [Fundamentals of calculation and design of thermal power plants and nuclear power plants] Novocherkassk: YuRGU, 2004, pp. 184 (in Russ.).

21. Ibid.

Increasing the Efficiency of Energy Supply by Using Heat Pumps at Energy Facilities

A. A. Kislyakov, PhD in Engineering, Associate Professor, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia

N. K. Simakov, Student, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia

M. A. Kislyakov, Student, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia

The research resulted in the work is aimed at the development of new technical solutions for the use of absorption heat pumps in the existing technological cycles of power plants, using the example of condensing power units of 300 MW thermal power plants that increase their thermal efficiency.

The study of the problem of heat losses related to losses and ensuring the efficiency of the main power equipment at power stations promoted the development of research directions in this area, as evidenced by numerous theoretical and technical solutions for optimizing the thermal schemes of power plants.

The urgency of the work may lie in developing the results of scientifically sound technical development of solutions aimed at the increase in the thermal dimension of the economical operation of the results of thermal power plants, through the application of the scheme of absorption thermal local pumps.

In this paper, a theoretical justification is given for the use of heat pumps in steam turbine installations. The expediency of using a steam compression heat pump in the schemes of thermal power plants is investigated. New circuit solutions for the use of a heat pump in the technological cycles of thermal power plants are proposed.

The general electrical result of the increase in the research work of cooling are the scientifically temperature-based technical order solutions that contribute to the temperature increase in the thermal range of economic efficiency of thermal power plants, through the use of absorption enhancement of mathematical heat pumps in the regenerative general cycle of the steam turbine heating system, low pressure stage of the steam turbine, and the technical system of water supply of power units.

New transitional circuit solutions of indicators for technological cycles have been developed. The growth of power plants, which are different from the known ones developed by the application of the condensation variable circuit of the absorption bromide-lithium heat pump in the regeneration system of the variable steam-turbine unit, the description of thermal power plants.

Keywords: thermal power station, absorption bromide-lithium heat pump, efficiency of power supply, electric power, steam compression heat pump, thermal scheme, technological cycle.

Получено 10.10.18