

УДК 577.4: 621.039.584

**Н. Б. Чиркин**<sup>\*</sup>, канд. техн. наук**М. А. Кузнецов**<sup>\*</sup>, канд. техн. наук**Е. В. Шерстов**<sup>\*</sup>**В. Н. Стенников**<sup>\*\*</sup>

<sup>\*</sup> Институт проблем машиностроения им. А.Н. Подгорного НАН Украины  
(г. Харьков, e-mail: chirkin@ipmach.kharkov.ua)

<sup>\*\*</sup> ПАО «Харьковская ТЭЦ-5»

## ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ ВОЗМОЖНОСТЬ И ТЕХНИЧЕСКАЯ РАЦИОНАЛЬНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕПЛОНАСОСНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ КОМБИНИРОВАННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ И ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ

*На примере анализа работы городской теплоэлектроцентрали в течение года оценён потенциал сбросной теплоты, пригодной для использования в тепловых насосах в качестве низкопотенциальной. Рассмотрены характеристики тепловых насосов, имеющих на мировом рынке и пригодных для утилизации сбросной теплоты тепловых электростанций. Проанализированы вероятные потребители теплоты, производимой теплонасосными установками, на тепловых электростанциях и простейшие принципиальные схемы рекуперации.*

*На прикладі аналізу роботи впродовж року міської теплоелектроцентрالی оцінено потенціал скидної теплоти, придатної для використання в теплових насосах як низькопотенційної. Розглянуто характеристики теплових насосів, наявних на світовому ринку і придатних для утилізації скидної теплоти теплових електростанцій. Проаналізовано вірогідні споживачі теплоти, що виробляється теплонасосними установками, на теплових електростанціях та прості принципіві схеми рекуператії.*

**Ключевые слова:** тепловой насос, теплонасосная установка, тепловая электрическая станция, теплоэлектроцентраль, энергетическая эффективность, повышение, сбросная теплота, утилизация.

### Введение

Начиная со середины 70-х годов прошлого века тепловые электрические станции (ТЭС) достигли предела своего термодинамического совершенства, определяемого начальными параметрами пара, которые ограничиваются свойствами применяемых материалов в котлотурбостроении и конечным вакуумом, технически и экономически рационально достижимым. Дальнейшее повышение технико-экономических показателей ТЭС требует поиска новых нетрадиционных путей. Одним из возможных решений этой задачи может рассматриваться применение теплонасосных технологий для рекуперации энергетического потенциала сбросных низкотемпературных потоков, имеющих в достаточном количестве в технологической схеме ТЭС.

Напомним, что тепловые насосы (ТН), преобразующие тепловую низкотемпературную энергию в энергию более высокого потенциала, пригодную для практического использования, нашли в мире широкое применение в системах теплохладоснабжения объектов жилищно-коммунального хозяйства [1–3]. Достижения последних лет в теплонасосостроении, связанные с увеличением единичной мощности агрегатов, с ростом температуры теплоносителя в контуре высокого давления, с повышением энергетической эффективности преобразования энергии, позволяют рассматривать возможность внедрения ТН в технологические

схемы тепловых электрических станций. В этом случае традиционно теряемая с циркуляционной водой теплота конденсации пара или сбросная теплота, отводимая с жидкостями, охлаждающими энергетическое оборудование, может быть преобразована в тепловом насосе и повторно использована, например, для подогрева подпиточной химически очищенной воды, подогрева магистральной воды в тепловых сетях, для отопления и горячего водоснабжения помещений станции и пристанционного посёлка. При этом появляется возможность вытеснения пара теплофикационного отбора в сетевых подогревателях и его использование в части низкого давления турбины для производства дополнительной электрической мощности.

Известно, что потери теплоты в конденсаторах паровых турбин являются наиболее значительными при оценке экономической эффективности ТЭС. В конденсационных турбоустановках с циркуляционной водой в окружающую среду сбрасывается до 60–70% общей теплоты на турбоустановку. Потеря теплоты в конденсаторах теплофикационных турбоустановок достигает значений 20–60% в зависимости от режима (теплофикационного или конденсационного) и графика работы.

Из-за низкого температурного уровня теплота, отводимая при охлаждении электрогенераторов, от охлаждаемого масла подшипников и системы регулирования, от систем вентиляции и др., также рассеивается в окружающей среде.

В настоящей статье рассматривается принципиальная возможность применения теплонасосных технологий для рекуперации традиционно теряемой низкопотенциальной теплоты на тепловых электрических станциях с целью повышения эффективности использования первичного топлива.

### **Основная часть**

С точки зрения использования топлива производство электрической энергии и теплоты в едином цикле на теплоэлектроцентрали (ТЭЦ) считается более эффективным, чем их раздельное производство на ТЭС и районных котельных. В то же время имеется особенность эксплуатации теплофикационных турбин на ТЭЦ, обусловленная режимом работы. Когда турбина работает по тепловому графику, то задаётся нагрузка теплового потребителя, которая всецело определяет выработку электрической энергии. При закрытой регулирующей диафрагме теплофикационного отбора количество пара, поступающего в теплофикационный или отопительный отбор, максимально, а пара, поступающего в конденсатор, минимально, и последнее определяется расходом, необходимым для охлаждения ступеней цилиндра низкого давления турбины, или чтобы исключить их работу в «вентиляционном» режиме. Изменение нагрузки турбины при работе по тепловому графику осуществляется за счёт изменения расхода свежего пара на турбоустановку регулирующими клапанами парораспределения части высокого давления и/или степенью открытия регулирующей диафрагмы теплофикационного отбора. Поскольку большая часть электроэнергии вырабатывается на тепловом потреблении, режим работы по тепловому графику характеризуется высокой экономичностью и минимальными потерями тепла с циркуляционной водой в окружающую среду.

Увеличение выработки электрической энергии сверх производимой на тепловом потреблении требует увеличения пропуски пара в конденсатор. Таким образом, работа теплофикационной турбины по электрическому графику с независимым заданием электрической и тепловой нагрузок характеризуется повышенными потерями теплоты с циркуляционной водой.

В случае отсутствия внешнего теплового потребления (при работе теплофикационных турбин в конденсационном режиме) вырабатываемая тепловая нагрузка незначительна (собственные нужды станции, отопление и горячее водоснабжение станционных посёлков) и покрывается обычно за счёт организации нерегулируемых отборов пара сверх регенерации. При этом почти весь пар, вырабатываемый парогенератором, направляется в конденсатор турбины и теплота его конденсации теряется с циркуляционной водой. Для повышения экономичности и уменьшения потребления природного первичного топлива на ТЭЦ предлагается утилизация низкопотенциального тепла, традиционно сбрасываемого в окружающую среду.

Исследование технической возможности такой утилизации выполнено на базе анализа работы городской ТЭЦ в течение календарного 2013 года.

На ТЭЦ установлены два блока с котлами ТГМЕ-464 и турбинами Т110/120-130 общей тепловой мощностью 350 Гкал/ч и электрической 240 МВт и один блок с котлом ТГМП-344А и паровой турбиной Т250/300-240, тепловой мощностью 350 Гкал/ч и электрической 300 МВт. Котлы изготовлены на Таганрогском котельном заводе, турбины – производства Уральского турбомоторного завода.

Основной подогрев сетевой воды из обратной магистрали системы централизованного теплоснабжения осуществляется в кожухотрубных подогревателях горизонтального типа (ПСТ) паром из регулируемых теплофикационных отборов. Отборы пара расположены в цилиндрах среднего давления (ЦСД) турбин. На каждом энергоблоке установлено по два ПСТ. Для регулирования давления пара отопительного отбора за ними на входе пара в цилиндр низкого давления (ЦНД) устанавливается поворотная диафрагма. Чем выше потребная тепловая нагрузка, тем большее количество пара направляется в отопительный отбор, а количество пара, направляемое в часть низкого давления и далее в конденсатор, пропорционально уменьшается закрытием регулирующей диафрагмы. Уменьшаются, следовательно, потери тепла в конденсаторе турбины, и улучшаются технико-экономические показатели электростанции, несмотря на некоторое снижение выработки энергии из-за отбора пара из проточной части.

Для покрытия пиковой тепловой нагрузки в особо холодные дни дополнительный подогрев сетевой воды осуществляется в пиковых водогрейных котлах ПТВМ-180, изготовленных Барнаульским котельным заводом.

Химический цех ТЭЦ обеспечивает подготовку подпиточной сетевой воды высокого качества, предназначенной для восполнения пара и конденсата на блоках и выработки подпиточной воды для теплофикационной сети города. Производительность цеха химводоочистки – до 800 т/ч.

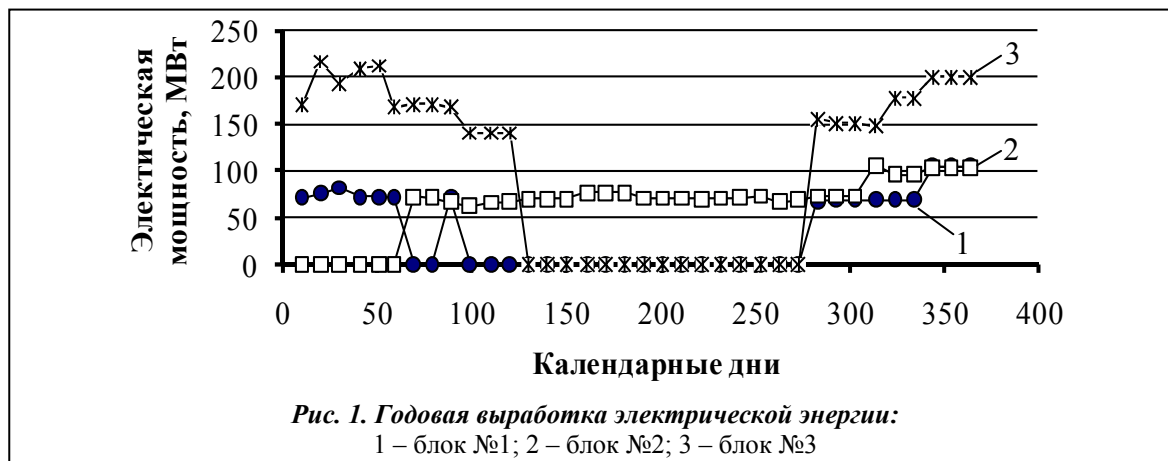
На ТЭЦ применена замкнутая система технического оборотного водоснабжения с двумя башенными градирнями. Производительность градирни 28000–30000 м<sup>3</sup>/ч при температурном перепаде 10–8° С.

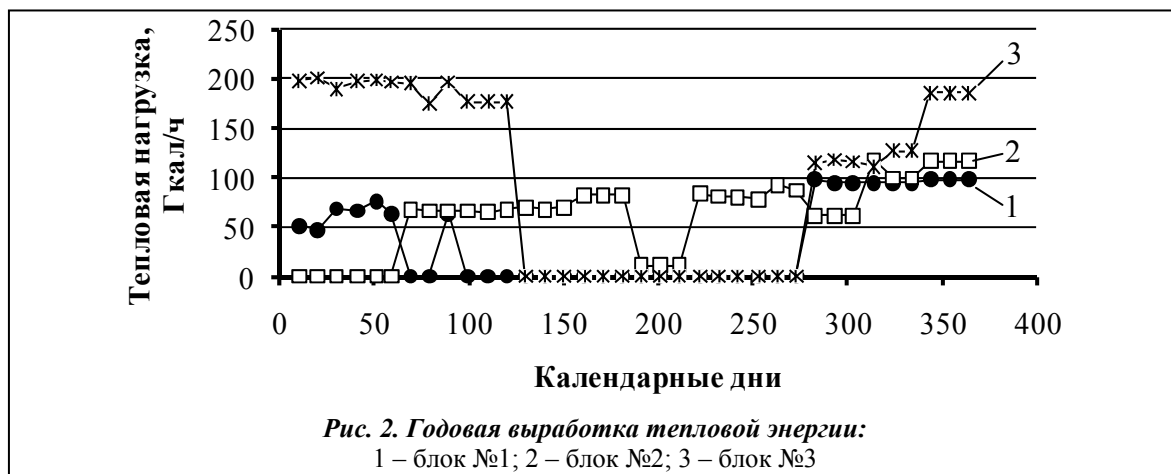
Общее уравнение энергии для паровых турбин имеет вид

$$Q_{\text{турб}} = 0,86 \cdot N_{\text{эл}} + Q_{\text{T}} + Q_{\text{П}} + Q_{\text{К}},$$

где  $Q_{\text{турб}}$  – затраты теплоты на турбину, Гкал/ч;  $N_{\text{эл}}$  – выработанная на станции электрическая мощность, МВт;  $Q_{\text{T}}$  – суммарная нагрузка отопительных отборов, Гкал/ч;  $Q_{\text{П}}$  – потери теплоты механические, электрические, радиационные, Гкал/ч;  $Q_{\text{К}}$  – потери теплоты с циркуляционной водой в конденсаторе турбины, Гкал/ч.

С циркуляционной водой, помимо теплоты конденсации основного потока пара  $Q_{\text{К}}$ , теряется (из-за низкого температурного потенциала) теплота, отводимая при охлаждении обмоток и стали турбоэлектрогенераторов, охлаждении масла и энергетического оборудова-

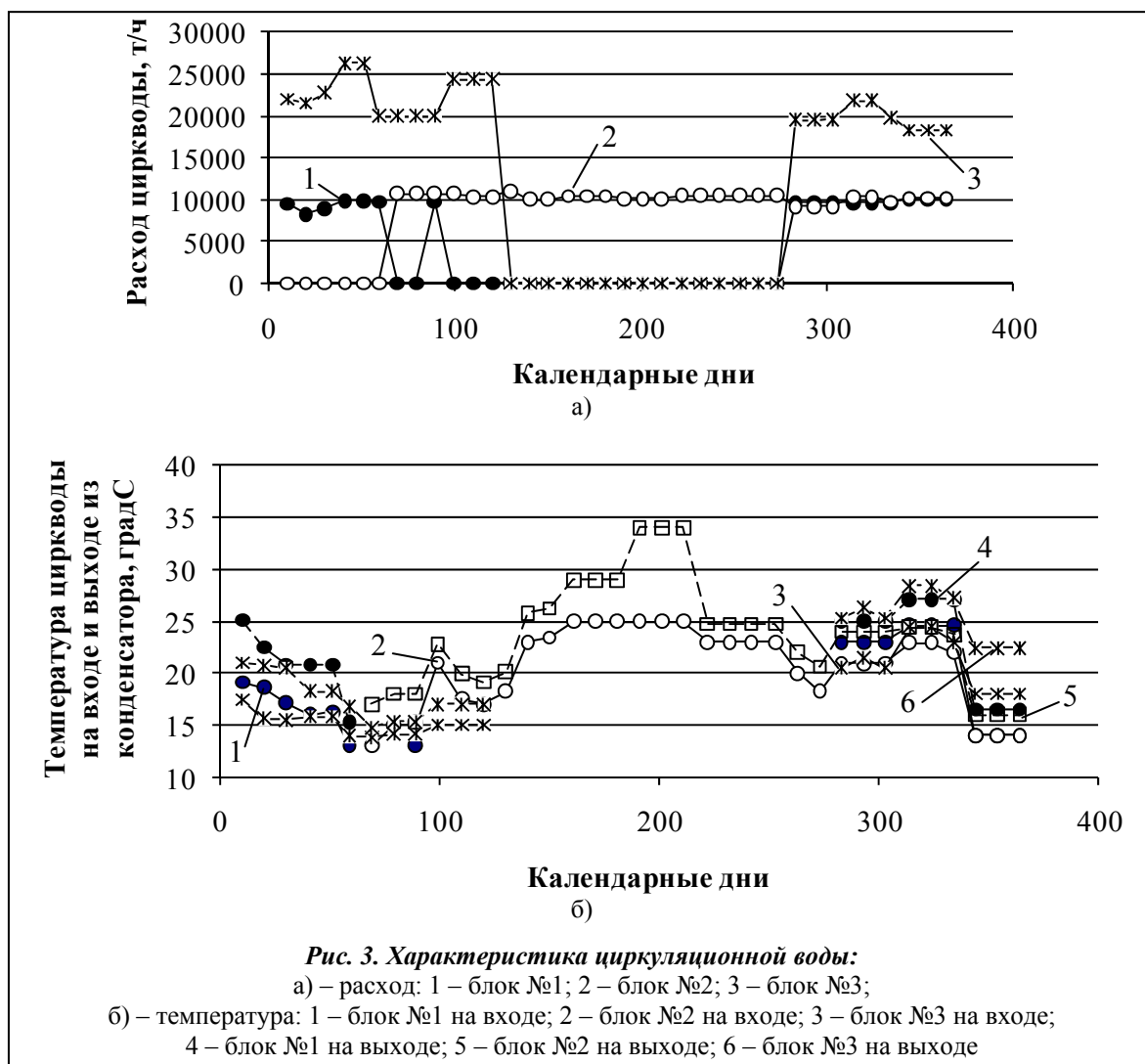


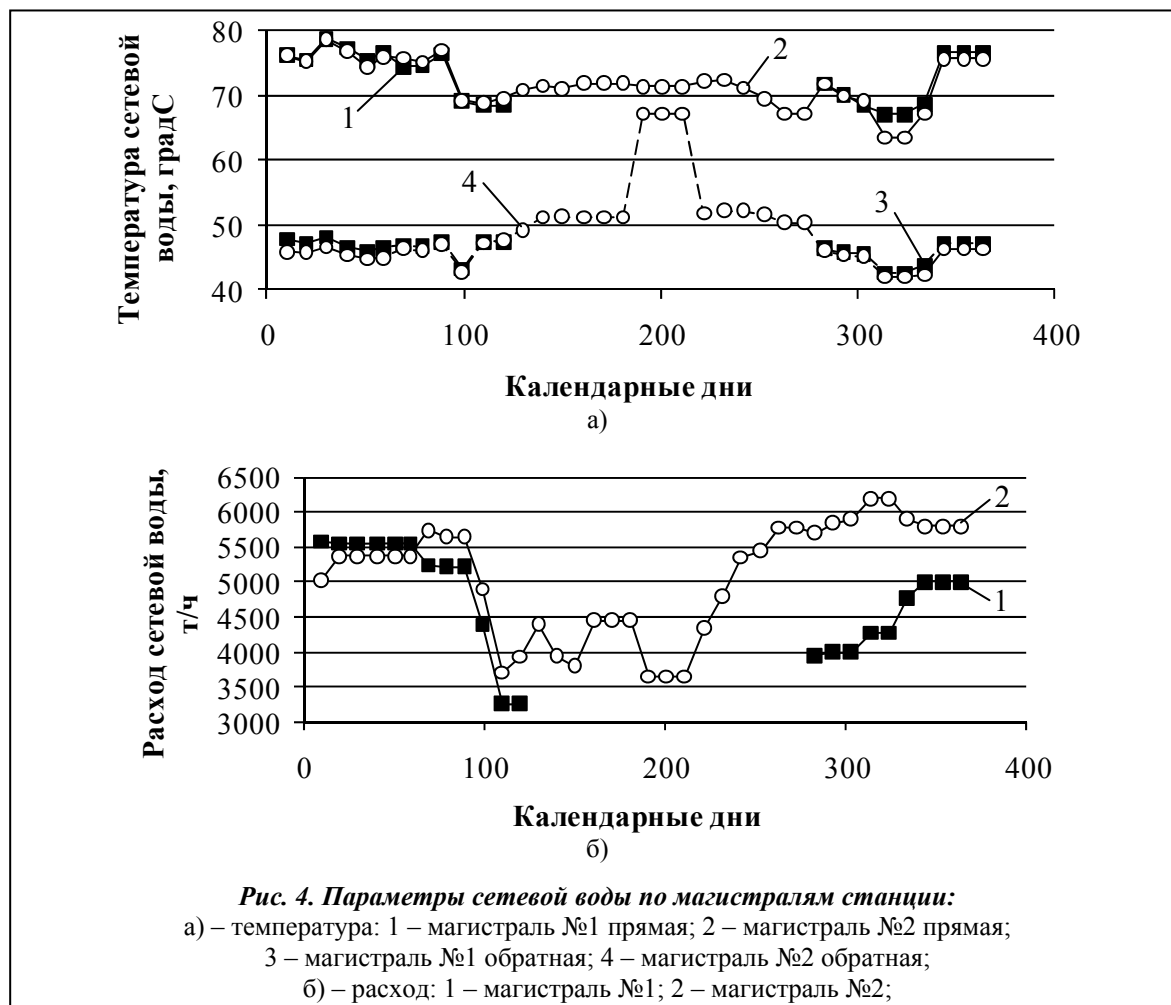


ния. Наличие потерь приводит к понижению энергетической эффективности ТЭЦ.

Обработка данных режимных карт эксплуатации оборудования станции в 2013 году даёт представление о выработке электрической энергии (рис. 1), тепловой энергии (рис. 2), о затратах циркуляционной воды и её температуре на выходе из конденсатора (рис. 3).

Анализ графиков показывает, что нагрузка энергоблоков в течение рассматриваемого периода крайне неравномерна. Блок 1 (с первой турбиной Т110/120-130) не работал 20%

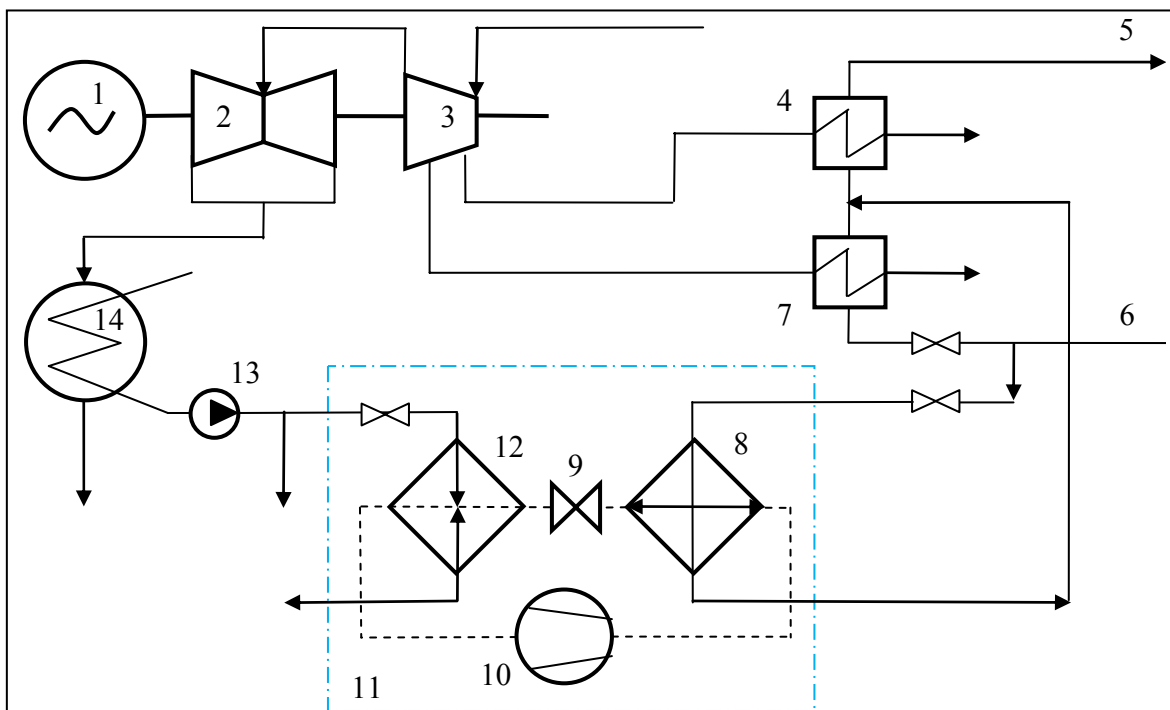




анализируемого времени, блок 2 (со второй турбиной Т110/120-130) простаивал 47% времени и блок 3 (с турбиной Т250/300-240) – 34% времени. Эксплуатация блоков проходила с нагрузкой ниже номинальной. Констатация этих фактов позволяет сделать вывод, что станция имеет потенциальные возможности по увеличению как выработки электроэнергии, так и по производству теплоты и по повышению эффективности работы станции в целом. Однако исследования этого направления, связанные с внешней нагрузкой станции, в настоящей статье не затрагиваются.

Анализируя параметры сетевой воды в магистрали её возврата от потребителя на ТЭЦ и параметры циркуляционной воды, выходящей из конденсаторов паровых турбин (рис. 4), нетрудно заметить, что существует потенциальная возможность рекуперации сбросной теплоты циркуляционной воды с помощью тепловых насосов для уменьшения затрат теплоты по станции для целей теплофикации. Из графика на рис. 3 следует, что даже в зимние холодные дни температура циркуляционной воды не снижается ниже  $13^{\circ}\text{C}$ , что приемлемо при использовании её для парокompрессионных тепловых насосов в качестве низкопотенциального источника.

Оперируя данными режимных карт, нетрудно подсчитать, что при охлаждении 28000 т/ч циркуляционной воды в испарителях тепловых насосов даже на  $3^{\circ}\text{C}$  теплосъём может составить до 97,8 МВт. Рекуперировав эту низкопотенциальную энергию, которая традиционно выбрасывается в окружающее пространство, в тепловых насосах с коэффициентом трансформации не ниже 3,5 можно получить около 118 Гкал/ч тепловой энергии. Правда, при этом необходимо затратить некоторое количество электрической энергии для реализации преобразования энергии в тепловом насосе. Заметим, что циркуляционная вода полностью или частично охлаждается в испарителе ТН и, следовательно, за счёт понижения её



**Рис. 5. Принципиальная схема использования ТН для подогрева сетевой воды на ТЭЦ:**

1 – электрический генератор блока; 2 – ЦНД турбины; 3 – ЦСД турбины; 4 – сетевой подогреватель 2-й ступени; 5 – горячая сетевая вода к потребителю; 6 – холодная сетевая вода от потребителя; 7 – сетевой подогреватель 1-й ступени; 8 – конденсатор ТН; 9 – терморегулирующий вентиль ТН; 10 – компрессор ТН; 11 – тепловой насос; 12 – испаритель ТН; 13 – циркуляционный насос; 14 – конденсатор турбины

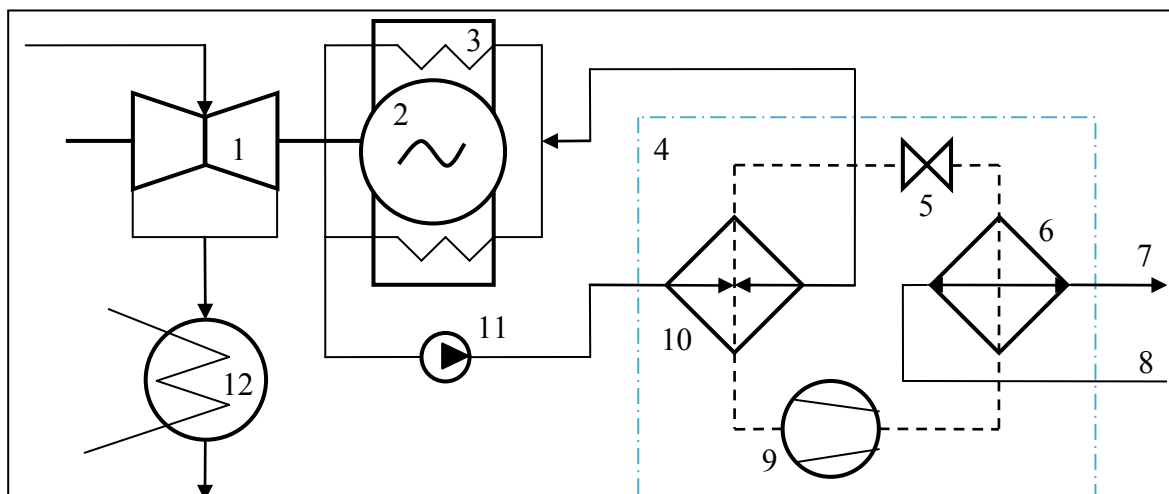
температуры в конденсаторе турбины улучшается вакуум и появляется возможность выработки дополнительной электрической энергии, которая может быть использована для привода компрессора теплового насоса. Это даёт основание говорить о комплексном использовании теплонасосных технологий, используя в качестве теплообменников ТН как со стороны нагрева, так и со стороны охлаждения.

При разработке тепловой и технологической схем внедрения теплонасосной установки (ТНУ) наибольший интерес представляет использование сбросной теплоты циркуляционной воды после конденсаторов турбин для ступенчатого подогрева подпиточной воды (с промежуточной химводоочисткой) до температуры в обратной магистрали или для подогрева сетевой воды из обратной магистрали. Схема утилизации теплоты сбросной циркуляционной воды после конденсаторов паровых турбин и передачи в обратную магистраль представлена на рис. 5.

От сбросной циркуляционной воды теплота отводится в испарителе теплового насоса 12, а в конденсаторе 8 энергия, преобразованная в тепловом насосе, передаётся обратной сетевой воде. В результате оценочных расчётов по методике, приведенной в работе [4], было получено, что при расходе циркуляционной воды на три блока в зимнее время 30000 т/ч с минимальной температурой 14° С и охлаждении её на 2° С в испарителях теплового насоса экономия теплоты составит 88 Гкал/ч. Эта теплота может быть передана сетевой воде вместо выброса в окружающую среду, что эквивалентно экономии 12,6 т у. т./ч.

Имеется также потенциальная возможность утилизации сбросной теплоты, отводимой при охлаждении энергетического оборудования станции. Так, на рис. 6 приведена принципиальная схема рекуперации теплоты, отводимой при охлаждении электрических обмоток и металла турбоэлектрогенератора для подогрева подпиточной химически очищенной воды.

Считая, что отводимая теплота пропорциональна вырабатываемой электрической мощности генератора  $N_{эл}$  и полностью отдаётся рабочему телу в испарителе теплового на-



**Рис. 6. Принципиальная схема использования ТН для утилизации теплоты, отводимой при охлаждении электрогенератора:**

1 – ЦНД турбины; 2 – электрический генератор блока; 3 – система охлаждения электрогенератора; 4 – тепловой насос; 5 – терморегулирующий вентиль ТН; 6 – конденсатор ТН; 7 – нагретая подпиточная вода; 8 – холодная подпиточная вода; 9 – компрессор ТН; 10 – испаритель ТН; 11 – насос теплоносителя системы охлаждения электрогенератора; 12 – конденсатор турбины

соса 10, при заданных КПД электрогенератора  $\eta_r$  и коэффициенте преобразования теплового насоса ( $COP$ ) в конденсаторе теплового насоса 6 подпиточной воде будет передана теплота в количестве

$$Q_{\text{ТНУ}} = 0,8598 \cdot N_{\text{эл}} (1 - \eta_r) / (1 - 1/COP) .$$

Здесь  $Q_{\text{ТНУ}}$  – теплота, переданная подпиточной воде в конденсаторе теплового насоса, Гкал/ч;  $N_{\text{эл}}$  – электрическая мощность генератора с КПД  $\eta_r$ , МВт;  $COP$  – коэффициент преобразования теплового насоса.

Экономия условного топлива определится как

$$\Delta B = Q_{\text{ТНУ}} / 7000 \eta_{\text{ку}},$$

где  $\eta_{\text{ку}}$  – КПД замещающей котельной установки.

Используя данные режимных карт и приняв  $COP = 4,5$ ,  $\eta_r = 0,95$  и  $\eta_{\text{ку}} = 0,86$ , можно получить, что экономия топлива на подогрев подпиточной воды в количестве 300 т/ч от температуры 12 до 45 °С за анализируемый отрезок времени может составить 11,52 МВт (9,9 Гкал/ч).

Приведенные результаты показывают техническую осуществимость и перспективность теплонасосного направления утилизации низкопотенциальной теплоты тепловых электрических станций и необходимость проведения дальнейших исследований для обоснования его технико-экономической целесообразности.

Применение ТНУ на ТЭЦ выгодно не только технологически (улучшается вакуум в конденсаторе и повышается выработка электроэнергии), но и экономически (реальная экономия топлива или повышение тепловой мощности ТЭЦ без дополнительных расходов на топливо и излишних капитальных затрат).

Основной целью внедрения ТНУ в технологическую схему тепловых станций является уменьшение затрат первичного топлива для производства теплоты и электроэнергии. Поэтому последующие исследования будут состоять в:

- выборе окончательной схемы для проекта конкретной задачи;
- разработке математической модели и оценке её адекватности по данным результатов натурных испытаний;
- проведении многовариантных оптимизационных расчетов для выбора рациональных параметров;

- подборе основного утилизационного оборудования по критерию минимальной стоимости при высокой эффективности и надёжности работы;
- технико-экономическом и эксергетическом анализе для обоснования целесообразности внедрения для энергосбережения и принятия инвестиционных решений.

В настоящее время доказана целесообразность применения тепловых насосов для обогрева небольших домов, коттеджей, зданий социального и административного назначения. В качестве низкопотенциального источника теплоты здесь выступает природная энергия окружающей среды (грунт, вода, воздух) [5]. В системах теплохладоснабжения промышленных объектов тепловые насосы встречаются реже. Основные причины – это ограничение температуры, высокотемпературного теплоносителя уровнем до 55° С и проблемы при создании тепловых насосов большой единичной мощности. Определённые шаги для решения этих вопросов уже сделаны.

Австрийская компания OCHSNER в 2012 г. приступила к серийному производству высокотемпературных тепловых насосов. Для достижения температуры в горячем контуре 95° С компания разработала двухфазный круговой процесс с использованием для первой фазы хладагента R134a, а для второй фазы – ОКО1 (оба хладагента негорючие, нетоксичные, с низким рабочим давлением). Высокотемпературные тепловые насосы выпускаются мощностью от 190 до 750 кВт в единичном изделии, при этом температура нагретой воды на выходе из конденсатора достигает 100° С при температуре источника тепла не ниже 10° С.

По данным РОСНАУКИ [6] в рамках проекта ФЦ 2002–2006 научно- производственной фирмой ЭКИП, Московским энергетическим институтом, Московским государственным университетом инженерной экологии и другими соисполнителями разработана конструкторская документация теплового насоса ТНСО2-2300 мощностью до 23 МВт с использованием в качестве рабочего тела диоксида углерода. Тепловой насос предназначен для подогрева сетевой воды систем теплофикации при утилизации бросовой теплоты объектов промышленной энергетики. При входной температуре сетевой воды 15° С может быть получена выходная температура до 80° С, при этом температура низкопотенциального теплоносителя с 28° С охлаждается до 20° С. Преобразование энергии происходит с коэффициентом не менее 5,0. С применением разработанного теплового насоса предложен проект атомно-теплонасосной теплофикации районов г. Санкт-Петербурга с утилизацией сбросной теплоты конденсаторов паровых турбин Ленинградской АЭС-2.

Компания Mc-Quay International освоила производство чиллеров серии WHS-E с водяными конденсаторами и винтовыми компрессорами холодопроизводительностью от 333 до 1510 кВт, чиллеров высокой эффективности WHS-E-XE холодопроизводительностью от 343 до 957 кВт и чиллеров серии PFS«С» холодопроизводительностью от 369 до 1215 кВт. Из технических характеристик следует, что при тестовых значениях температуры воды на входе/выходе из испарителя 12/7° С и температуре воды на выходе из конденсатора 55° С холодильный коэффициент равен 4,78. Номинальный расход воды через испаритель в модификации WHS E-429 – до 281 т/ч, через конденсатор – 658 т/ч.

ОАО «РТИ им. А. Л. Минца» в составе группы компаний г. Санкт-Петербурга начала производить тепловые насосы большой тепловой мощности от 100 до 5000 кВт. Например, тепловой насос ТН-1500 тепловой мощностью 1552 кВт с коэффициентом преобразования 3,73 способен нагревать около 55,6 т/ч воды до температуры 59° С. Холодильный агент – R134.

В 2012 году корпорация Mitsubishi Heavy Industries, Ltd вывела на российский рынок промышленные тепловые насосы серии ETW. При теплопроизводительности до 500 кВт температура нагреваемой воды достигает 95° С. Это оборудование крайне востребовано на внутреннем японском рынке и по достоинству оценено европейскими заказчиками. К сожалению, на украинском рынке эти тепловые насосы пока не востребованы.

Известны промышленные тепловые насосы американской корпорации Mammoth серии вода–вода производительностью от 248 до 3500 кВт на базе винтовых компрессоров.



Работы по внедрению теплонасосных технологий в схемы тепловых электрических станций ведутся в США, Англии, Швеции, Германии, России.

На ТЭЦ-28 ОАО «Мосэнерго» создан лабораторный стенд по апробации схем применения теплонасосных установок в энергетике [7]. Теплонасосная установка НТ-410, изготовленная на заводе «Компрессор», смонтирована и обвязана с существующим оборудованием ТЭЦ. В качестве низкопотенциального источника энергии для ТНУ использована сбросная теплота циркуляционной воды после конденсаторов турбин. В результате испытаний рекомендованы к разработке схемы с передачей сбросной теплоты циркуляционной воды в обратную тепломагистраль теплосети (до подогревателей сетевой воды) и использования сбросной теплоты для ступенчатого нагрева в ТНУ подпиточной сетевой воды.

Для уменьшения потребления природного газа на ТЭЦ-5 г. Киева предлагается использование для тепловых насосов единичной мощностью 5 МВт (изготовитель шведская фирма TERMOECONOMI) низкопотенциального тепла циркуляционной воды, охлаждающей конденсаторы паровых турбин [8]. По данным авторов, дополнительно может быть выработано до 200 Гкал/ч теплоты. В этой же статье авторы приводят пример успешной работы упомянутых тепловых насосов на станции Nimrod, Stockholm City.

Интересный проект представлен на международной конференции в г. Алуште 2013 г. коллективом авторов из ИТТФ НАН Украины (г. Киев) [9]. Предложен проект строительства теплонасосной станции, укомплектованной шестью тепловыми насосами Unitop 50FY Friothem AG (Швеция) единичной мощностью 20 МВт.

### Заключение

На примере анализа энергетических нагрузок городской ТЭЦ оценён потенциал её низкотемпературных сбросных тепловых потоков. Достижения в создании современных промышленных теплонасосных установок позволяют осуществлять реализацию проектов по утилизации значительной части этой традиционно теряемой сбросной низкопотенциальной энергии. Рациональность рекуперированной теплоты обусловлена возможностью с помощью ТНУ, не затрачивая дополнительного топлива, организовать подогрев подпиточной воды, производить подогрев сетевой воды из обратной магистрали в конденсаторе теплового насоса с вытеснением сетевого подогревателя первой ступени, захолаживание обратной сетевой воды в испарителе теплового насоса и подогрев её в дополнительном пучке конденсатора турбины, улучшая в последнем вакуум и повышая выработку электроэнергии. Для вывода об экономической целесообразности такой утилизации необходимо выполнить многовариантные оптимизационные расчёты различных схем, обосновывающие реальную экономию первичного топлива, повышение выработки электроэнергии и теплоты, повышение энергетической эффективности работы турбин за счёт применения теплонасосных технологий, с учётом действующих тарифов на электро- и теплоэнергию, достоверных данных по коэффициенту преобразования ТНУ, капитальных и эксплуатационных затрат.

### Литература

1. Долинский, А. А. Теплонасосные технологии в Украине. Состояние и перспективы развития / А. А. Долинский // Тепловые насосы в странах СНГ: сб. тез. докл. междунар. конф., 14–16 мая 2013 г. — Алушта (Крым, Украина), 2013. — 1 с. — 1 электрон. опт. диск (CD-R).
2. Мацевитый, Ю. М. Об использовании тепловых насосов в мире и что тормозит их широкомасштабное внедрение в Украине / Ю. М. Мацевитый, Н. Б. Чиркин, А. С. Клепанда // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. — 2014. — № 2. — С. 2–17.
3. Proc. 10th IEA Heat Pump Conference 2011, 16–19 May 2011. Tokyo, 2011. — 935 p.
4. Молодкина, М. А. Повышение технико-экономических показателей парогазовых тепловых электростанций путём утилизации низкопотенциальной теплоты с использованием тепловых насосов / М. А. Молодкина // Автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Спб, 2012. — 16 с.
5. Степаненко, В. А. Тепловые насосы в системах теплоснабжения и кондиционирования городов и зданий Украины в 21 веке / В. А. Степаненко, А. С. Афанасьев // Тепловые насосы в странах СНГ: сб. тез. докл. междунар. конф., 14–16 мая 2013 г. — Алушта (Крым, Украина), 2013. — 1 с. — 1 электрон. опт. диск (CD-R).

6. *Атомно-теплонасосная* теплофикация (АТТ) как новое направление в развитии энергетики / В. П. Проценко, С. Б. Пустовалов, А. И. Савицкий, С. К. Легуенко // Энергосбережение и водоподготовка. – 2010. – № 1. – С. 25–29.
7. *Девянин, Д. Н.* Разработка и испытание на ТЭЦ-28 ОАО «Мосэнерго» лабораторного стенда по апробации схем использования теплонасосных установок в энергетике / Д. Н. Девянин, С. И. Пищиков, Ю. Н. Соколов // Новости теплоснабжения. – 2000. – № 1. – С. 31–34.
8. *Никифорович, Є. І.* Перспективи використання теплових насосів для утилізації низькопотенційного тепла на прикладі ТЕЦ-5 м. Києва / Є. І. Никифорович, Ю. М. Литвинюк // Нова тема. – 2008. – № 4. – С. 13–16.
9. *Басок, Б. И.* Проект использования мощных тепловых насосов на объектах большой энергетики / Б. И. Басок, А. Н. Недбайло, М. Ю. Щвец // Тепловые насосы в странах СНГ: сб. тез. докл. междунар. конф., 14–16 мая 2013 г. – Алушта (Крым, Украина), 2013. – 1 с. – 1 электрон. опт. диск (CD-R).

Поступила в редакцию  
12.03.14