

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И КОМПЛЕКСЫ



УДК 620.9

DOI:10.30724/1998-9903-2024-26-6-147-156

УТИЛИЗАЦИЯ НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ ТЭЦ

Зверева Э.Р., Марьин Г.Е., Ишалин А.В.

Казанский государственный энергетический университет, г. Казань, Россия
belvira6@list.ru

Резюме: *ЦЕЛЬ.* Разработка технических решений для утилизации пара вторичного вскипания для снижения потерь тепловой энергии, пара и конденсата ТЭЦ. *МЕТОДЫ.* Были проведены сравнительные исследования вариантов утилизации, предложено несколько схем по конденсации низкопотенциальных источников энергии. Рассчитан экономический эффект от предложенных технических решений по утилизации паровых выбросов установок ТЭЦ. *РЕЗУЛЬТАТЫ.* Для определения технических характеристик вспомогательного оборудования были проведены расчеты по количеству охлаждающей жидкости. В зимний период работы установки – источнике паровых выбросов, при минимальном расходе выпара 2,5 т/ч – для охлаждения и последующей конденсации пара необходимо порядка 10,99 т/ч охлаждающей воды (сетевой воды); при максимальном расходе выпара 5 т/ч – 21,99 т/ч охлаждающей воды (сетевой воды) соответственно. По результатам расчетов выбран кожухотрубчатого теплообменник ОВА-16, площадь поверхности теплообмена, которого равна 16 м². При реализации предложенных технических решений по утилизации выпара рассчитан экономический эффект, который составил: – при минимальном расходе выпара 2,5 т/ч на нагрев сетевой воды, в течение отопительного периода (в среднем 245 дней) 82320-98020 рублей; при максимальном расходе выпара 5 т/ч 164640-184044 рублей соответственно.

Ключевые слова: модернизация; тепловая электрическая станция; энергоэффективность; КПД; утилизация низкопотенциальной энергии; паровые выбросы; теплообменник.

Для цитирования: Зверева Э.Р., Марьин Г.Е., Ишалин А.В. Утилизация низкопотенциальных источников энергии ТЭЦ // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2024. Т. 26. № 6. С. 147-156. doi: 10.30724/1998-9903-2024-26-6-147-156.

UTILIZATION OF LOW-POTENTIAL THERMAL POWER PLANT ENERGY SOURCES

Zvereva E.R., Marin G.E. Ishalin A.V.

Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia
belvira6@list.ru

Abstract: *THE PURPOSE.* Development of technical solutions for the utilization of secondary boiling steam to reduce losses of thermal energy, steam and condensate of CHP plants. *METHODS.* Comparative studies of disposal options were conducted, and several schemes for condensation of low-potential energy sources were proposed. The economic effect of the proposed technical solutions for the utilization of steam emissions from CHP plants is calculated. *RESULTS.* To determine the technical characteristics of the auxiliary equipment, calculations were carried out on the amount of coolant. During the winter period of operation of the installation - a source of steam emissions, with a minimum evaporation rate of 2.5 t/h - about 10.99 t/h of cooling water (mains water) is needed for cooling and subsequent condensation of steam; with a maximum evaporation rate of 5 t/h - 21.99 t/h of cooling water (mains water),

respectively. According to the calculation results, the OVA-16 shell-and-tube heat exchanger was selected, the heat exchange surface area of which is 16 m². When implementing the proposed technical solutions for the disposal of evaporation, the economic effect was calculated, which amounted to: - with a minimum evaporation consumption of 2.5 t/h for heating mains water, during the heating period (on average 245 days) 82320-98020 rubles; with a maximum evaporation consumption of 5 t/h) 164640-184044 rubles, respectively.

Keywords: modernization; thermal power plant; energy efficiency; efficiency; utilization of low-potential energy; steam emissions; heat exchanger.

For citation: Zvereva E.R., Marin G.E. Ishalin A.V. Utilization of low-potential thermal power plant energy sources. *Power engineering: research, equipment, technology*. 2024; 26 (6): 147-156. doi:10.30724/1998-9903-2024-26-6-147-156.

Введение и литературный обзор (Introduction and Literature review)

Энергоемкость является одним из ключевых показателей состояния развития промышленности стран. По данным Мирового энергетического агентства (МЭА), по уровню энергоемкости Россия располагается на 136 месте среди 146 стран мира [1-2]. Важнейшими причинами высокой энерго- и материалоемкости экономики России являются структура российской экономики с преобладанием в ней сырьевых отраслей, сильной изношенности основных фондов, их технологической отсталостью и др. Значительное снижение энергоемкости предприятия возможно при внедрении энергосберегающих мероприятий. По расчетам Института энергетической стратегии общий суммарный потенциал только технологического и организационного энергосбережения равняется в России 40–45 % [3] от всего энергопотребления.

Большой проблемой в настоящее время для промышленных предприятий и для предприятий энергетики являются устаревшие технологии и оборудование. Однако, в результате внедрения энергосберегающих технологий, на энергетических предприятиях существует возможность выработки дополнительной электроэнергии за счет собственных ресурсов.

Экологическую угрозу теплового загрязнения окружающей среды создают источники паровых выбросов ТЭЦ в атмосферу, несущие огромные потери тепла и конденсата, поэтому проблема утилизации паровых выбросов является актуальной [4-6].

В настоящее время на предприятиях большое количество низкопотенциального пара выбрасывается в атмосферу, что значительно повышает энергоемкость производства, ухудшает экологическую безопасность генерирующих предприятий [7].

Паровые выбросы [3] образуются с пролетным паром (например, при создании паровой подушки в баках-аккумуляторах систем теплоснабжения и горячего водоснабжения), либо в результате вскипания перегретых жидкостей (при сбросе горячего конденсата в конденсатный бак), а также могут являться комбинацией обоих случаев (продувочная пароводяная смесь паровых котлов). Выброс низкопотенциального пара в атмосферу. Образовавшийся в технологических процессах низкопотенциальный водяной пар, зачастую сбрасывается в атмосферу. При этом, содержащиеся в паре тепло и дорогостоящая химически очищенная вода теряются, что приводит к снижению технико-экономических показателей тепловой электростанции, а также разрушаются конструкции сооружений в зоне сброса выпаров [8-9].

Таким образом, утилизация тепла и конденсата паровых выбросов является важной составляющей современного энергетического и промышленного производства. Отходы, образованные в процессе выработки пара, могут быть возвращены в цикл для снижения энергоемкости производства и снижения его экологического ущерба окружающей среде [10].

Технология утилизации паровых выбросов должна разрабатываться индивидуально, с учетом конкретных условий и на основе комплексного подхода.

Материалы и методы (Materials and methods)

В настоящее время на производстве наибольшее распространение получили следующие способы утилизации тепла и конденсата паровых выбросов:

1. Утилизация тепла паровых выбросов.

Один из наиболее распространенных способов утилизации тепла паровых выбросов – использование систем теплового насоса, который позволяет извлечь тепло из паровых выбросов и передать его в другую систему, например, для обогрева воды или помещений.

Такой подход позволяет значительно увеличить энергоэффективность производства и снизить затраты на энергию [11-12].

Кроме того, тепло паровых выбросов может быть использовано для генерации электроэнергии. Такое решение особенно актуально для крупных промышленных предприятий, где происходит выработка большого количества пара.

2. Утилизация конденсата паровых выбросов.

Конденсат, образующийся при охлаждении паровых выбросов, также является ценным ресурсом, который можно использовать повторно: конденсат может быть возвращен в систему парообразования или использован для нагрева воды. Одним из методов утилизации конденсата является его возвращение в систему подпитки, что позволяет сэкономить на пресной воде и снизить затраты на обработку сточных вод. Конденсат также может быть использован для предварительного нагрева входящей в процесс сырьевой жидкости, что позволяет снизить затраты на нагрев воды.

Таким образом, утилизация тепла и конденсата паровых выбросов является способом повышения эффективности, снижения энергоемкости и экологического воздействия предприятия на окружающую среду. Утилизация тепла позволяет извлечь тепловой потенциал из паровых выбросов и использовать его для различных производственных процессов. Конденсат паровых выбросов также может быть использован повторно, что позволяет сэкономить на химически очищенной воде и снизить затраты на обработку сточных вод.

Результаты (Results)

В настоящее время утилизация низкопотенциального тепла является перспективным направлением в энергетике. Целью данной работы является разработка системы утилизации тепла паровых выбросов установок предприятий.

Для достижения поставленной цели было необходимо решить следующие задачи:

- разработка схемы утилизации пара;
- выбор оборудования;
- оценка экономической выгоды от внедрения данной системы утилизации.

В данной работе рассмотрена проблема утилизации выпара из расширителей конденсата, и здесь предложено несколько вариантов:

1 – это способы утилизации, связанные с покупкой дорогостоящего оборудования и усложнением цикла при утилизации. Примером могут служить тепловые насосы, АБХМ (абсорбционно-холодильные машины), при этом важно отметить, что использование дополнительной энергии и усложнение цикла приводит к увеличению затрат на собственные нужды [13-17].

2 – это способы утилизации выпара с помощью различного теплообменного оборудования.

Важно отметить что в течении года количество низкопотенциального пара для утилизации меняется, это обусловлено тем что в зимний период пар может является пароспутником. В летний период расходы пара будут минимальны.

Для теплообменного оборудования важно наличие двух контуров, греющего и нагреваемого. В качестве охлаждающих жидкостей на тепловой станции могут выступать техническая, сетевая, подпиточная вода.

Выпар предлагается конденсировать с помощью теплообменного оборудования, и в качестве охлаждающей среды использовать сетевую или техническую воду. Сконденсированный пар, в виде конденсата предлагается возвращать в цикл.

Была разработана технологическая схема, позволяющая работать на двух видах рабочего тела: в зимний период использовать сетевую воду, а в летний период переходить на техническую воду для охлаждения. При охлаждении будет получена дополнительная тепловая энергия, которая в зимний период будет сохранена в сетевой воде, в летний период она будет потеряна (при переходе на техническую воду).

В данной работе рассмотрена система охлаждения паровых выбросов баков запаса конденсата на действующей ТЭЦ.

Исходными данными для разработки методов утилизации выпара являются:

1. Расход выпара в летний период – 2,5т/ч;
2. Расход выпара в зимний период – 2,5-5 т/ч;
3. Температура выпара – 105⁰С;
4. Температура технической воды в летний период – 25⁰С;
5. Температура обратной сетевой воды принята – 55⁰С.

Для определения технических характеристик вспомогательного оборудования были проведены расчеты по количеству охлаждающей (сетевой) жидкости. Физические параметры теплоносителей определялись при их средних температурах [18].

1. В зимний период работы установки – источнике паровых выбросов, при минимальном расходе выпара 2,5 т/ч.

Средняя температура выпара составит:

$$t_{p,вп} = 0,5(t_1 + t_2) = 87,5 \text{ } ^\circ\text{C},$$

где $t_1 = 105^\circ\text{C}$ – температура выпара на входе в теплообменник;

$t_2 = 70^\circ\text{C}$ – температура конденсата на выходе из теплообменника (данная температура выбрана как минимально возможная для возврата в бак запаса конденсата, исключающая гидроудары).

Средняя температура воды составит:

$$t_{в,ср} = 0,5(t_3 + t_4) = 60 \text{ } ^\circ\text{C},$$

где $t_3 = 50^\circ\text{C}$ – температура охлаждающей воды на входе в теплообменник;

$t_{в,ср} = 60^\circ\text{C}$ – температура охлаждающей воды на выходе из теплообменника.

Тепловая нагрузка теплообменника:

$$Q = G_p * C_{рп}(t_1 - t_2) = 192500 \text{ Вт},$$

где G_p – расход пара (т/ч); $C_{рп}$ – теплоемкость пара (Дж/(кг* $^\circ\text{C}$)).

Расход охлаждающей воды:

$$G_в = Q / C_p * (t_4 - t_3),$$

где C_p – теплоемкость воды (Дж/(кг* $^\circ\text{C}$));

t_3 – температура охлаждающей воды на входе в теплообменник;

t_4 – температура охлаждающей воды на выходе теплообменника.

$$G_в = 3,05 \text{ кг/с} = 10,99 \text{ т/ч}$$

Таким образом, для охлаждения и последующей конденсации пара необходимо порядка 10,99 т/ч охлаждающей воды (сетевой воды).

2. В зимний период работы установки – источнике паровых выбросов, при максимальном расходе выпара 5 т/ч.

Средняя температура выпара:

$$t_{p,вп} = 0,5(t_1 + t_2) = 87,5 \text{ } ^\circ\text{C},$$

где $t_1 = 105^\circ\text{C}$ – температура выпара на входе в теплообменник;

$t_2 = 70^\circ\text{C}$ – температура конденсата на выходе из теплообменника (данная температура выбрана как минимально возможная для возврата в бак запаса конденсата, исключающая гидроудары).

Средняя температура воды:

$$t_{в,ср} = 0,5(t_3 + t_4) = 60 \text{ } ^\circ\text{C},$$

где $t_3 = 50^\circ\text{C}$ – температура охлаждающей воды на входе в теплообменник;

$t_{в,ср} = 60^\circ\text{C}$ – температура охлаждающей воды на выходе из теплообменника.

Тепловая нагрузка теплообменника:

$$Q = G_p * C_{рп}(t_1 - t_2) = 385000 \text{ Вт},$$

где G_p – расход пара (т/ч),

$C_{рп}$ – теплоемкость пара (Дж/(кг* $^\circ\text{C}$)).

Расход охлаждающей воды составит:

$$G_в = Q / C_p * (t_4 - t_3),$$

где C_p – теплоемкость воды (Дж/(кг* $^\circ\text{C}$)),

t_3 – температура охлаждающей воды на входе в теплообменник,

t_4 – температура охлаждающей воды на выходе теплообменника.

$$G_в = 6,11 \text{ кг/с} = 21,99 \text{ т/ч}$$

Таким образом, для охлаждения и последующей конденсации пара необходимо порядка 21,99 т/ч охлаждающей воды (сетевой воды).

Важно отметить, что при реализации такой схемы будет получена дополнительная тепловая энергия и конденсат. В зависимости от температурного графика теплосети, средний период в течении которого может работать данная схема составляет от 210 до 245 дней. При отключении теплосети необходимо рассмотреть вариант с использованием технической воды в качестве охлаждающей жидкости.

Для охлаждения выпара должна использоваться охлаждающая (сетевая) вода, удовлетворяющая требованиям по эксплуатации оборудования (табл. 1, 2).

Эффективность охлаждения напрямую зависит от количества загрязнений на внутренней поверхности стенок теплообменника. В таблице 1 представлены средние значения тепловой проводимости в зависимости от качества используемой воды.

Таблица 1

Table 1

Среднее значение тепловой проводимости загрязнений стенок
The average value of the thermal conductivity of wall contamination

№ п/п	Теплоноситель	Тепловая проводимость минимальная, Вт/(м ² К)	Тепловая проводимость максимальная, Вт/(м ² К)
1	Вода среднего качества	1400	1860
2	Вода хорошего качества	1860	2900
3	Вода очищенная	2900	5800

*Источник: [19] Павлов К. Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. Учебное пособие. Изд. 10-е, перераб. и доп.- М.: Альянс, 2019. 576 с. – ISBN 978-5-91872-031-8.

Source: [19] Pavlov K. F., Romankov P.G., Noskov A.A. Examples and tasks in the course of processes and devices of chemical technology. A study guide. 10th edition, revised. and additional.- M.: Alliance, 2019. 576 p. – ISBN 978-5-91872-031-8.

В зависимости от качества воды при нагреве в теплообменнике могут образоваться различные загрязнения. Для долгосрочной работы теплообменного оборудования необходимо применение системы водоподготовки. В таблице 2 показаны нормативные значения охлаждающей воды.

Таблица 2

Table 2

Нормативные значения охлаждающей воды в подогревателях
Standard values of cooling water in heaters

№ п/п	Данные по анализу для воды оборотных охлаждающих систем	Добавочная	Оборотная
1	Запах, баллы	< 3	< 3
2	Жесткость, мг-экв/л:		
	карбонатная	0,5-0,8	< 3
	общая	45323,00	< 7
3	Окисляемость перманганатная, мг О ₂ /л:	1-2	< 10
4	Щелочность, мг-экв/л	0,5-1,0	2-4
5	Общее солесодержание, мг/л	150-250	800-1200
6	ХПК, мг О ₂ /л	15-30	< 70
7	БПК, мг О ₂ /л	1-5	5-10
8	Содержание, мг/л:		
	ионов тяжелых металлов	отсутствие	отсутствие
	масел и смолообразующих веществ	отсутствие	отсутствие
	ПАВ	отсутствие	отсутствие
	фосфора (в пересчете на P ₂ O ₅)	< 1	< 5
	растворенного кислорода	—	6-8
	сульфатов	70-120	350-500
	азота (общ.)	< 30-35	< 150
остаточного активного хлора	1	1	
9	pH	6,5-8,5	6,5-8,5
10	Содержание взвешенных веществ, мг/л	2-4 (желат.отсутствие)	10-20
11	Содержание хлоридов, мг/л	30-70	150-300

*Источник: Нормы качества сетевой и подпиточной воды водогрейных котлов, организация водно-химического режима и химического контроля // [Электронный ресурс]. Режим доступа <https://docs.cntd.ru/document/1200031800>. Дата доступа: 03.07.2024

Source: Quality standards of network and make-up water of hot water boilers, organization of water-chemical regime and chemical control // [Electronic resource]. Access mode <https://docs.cntd.ru/document/1200031800>. Date of access: 07.03.2024

Для охлаждения пара мы выбрали кожухотрубчатый теплообменник. Теплообменные кожухотрубчатые аппараты представляют собой горизонтальную или вертикальную емкость диаметром от 159 до 1200 мм и площадью теплообмена до 973 м².

Внутри в теплообменниках располагаются неподвижные трубные решетки с жестко закрепленными в них трубами и температурные компенсаторы (в моделях типа ТК). Принцип работы теплообменных аппаратов заключается в процессе теплообмена между рабочими средами, двигающимися по трубным решеткам и межтрубному пространству (рис. 1).

Одним из главных преимуществ данных теплообменников является их высокая надежность. Благодаря своей конструкции, они могут выдерживать высокие значения

давления и температуры. Кожухотрубчатый теплообменники имеют длительный срок эксплуатации и требуют минимального обслуживания.

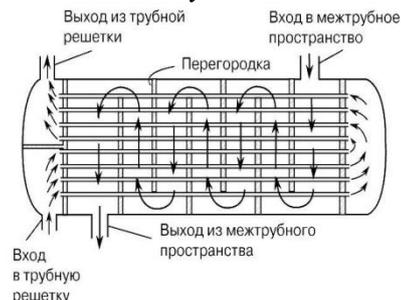


Рис. 1. Принцип работы кожухотрубчатого теплообменника

Fig. 1. The principle of operation of the shell-and-tube heat exchanger

*Источник: Кожухотрубчатый теплообменник: устройство и принцип работы // [Электронный ресурс]. Режим доступа https://nnto.ru/o-predpriyatii/stati/princip_raboty_i_tipy_kozhuhotrubnyh_teploobmennikov/ Дата доступа: 11.11.2024

Source: Shell-and-tube heat exchanger: device and principle of operation // [Electronic resource]. Access mode https://nnto.ru/o-predpriyatii/stati/princip_raboty_i_tipy_kozhuhotrubnyh_teploobmennikov/ Date of access: 11.11.2024

Трубный пучок теплообменника выполнен из гладких латунных или нержавеющей трубок наружным диаметром от 16 до 22 мм. На рисунке 2 показана разработанная технологическая схема утилизации выпара с помощью кожухотрубчатого теплообменника.

Выпар из расширителя 2 направляется в теплообменник 3, далее сконденсированный пар в виде конденсата поступает в бак для сбора сконденсированного выпара 4 и перекачивается насосом 5 в бак запаса конденсата 1. Охлаждение выпара происходит в теплообменнике с трубной системой из нержавеющей стали AISI 304 (08X18H10) с помощью сетевой воды (ОСВ), сетевая вода нагревается и будет направлена в сетепровод.

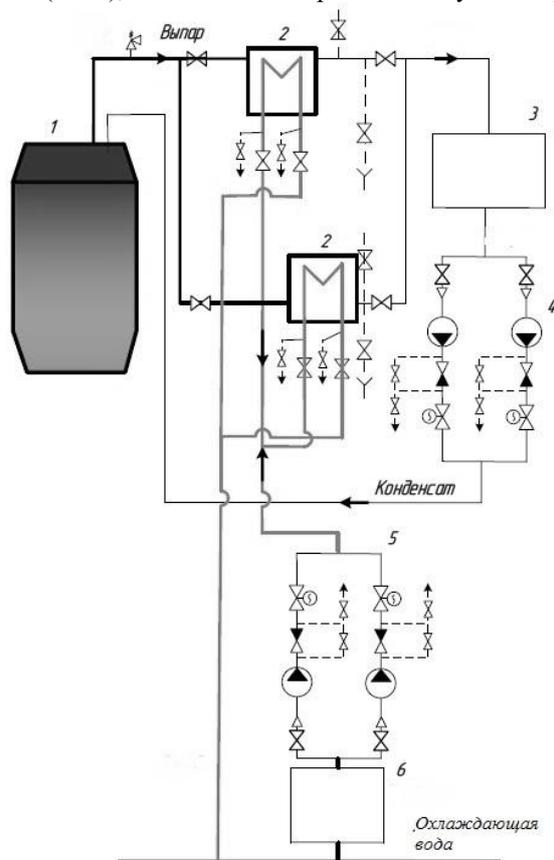


Рис. 2. Схема процесса конденсации выпара охлаждающей водой: 1 – бак запаса конденсата; 2 – расширитель; 3 – теплообменник резерва; 4 – насосная группа для перекачки конденсата; 5 – насосная группа для перекачки охлаждающей воды; 6 – система предварительной очистки охлаждающей воды

Fig. 2. The scheme of the evaporation condensation process with cooling water: 1 – condensate reserve tank; 2 – heat exchanger; 3 – condensate collection tank; 4 – pumping group for pumping condensate; 5 – pumping group for pumping cooling water; 6 – cooling water pretreatment system

*Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.

Количество теплоты, переданное теплообменником охлаждающей воде составит:

$$Q = m * c * (t_2 - t_1) = 192,5 \text{ кДж/с},$$

где m – масса пара, кг;

c – удельная теплоемкость пара, кДж/(кг*°C);

t_1, t_2 – температура пара на входе и на выходе, °C.

Выпар с температурой 105⁰C поступает в теплообменник, где охлаждается до температуры 70⁰C.

Температура на выходе из теплообменника составила:

$$T_{\text{вых}} = Q / (m * c) + t_2 = 62,4 \text{ } ^\circ\text{C},$$

Площадь поверхности теплообмена:

$$F = Q / \Delta t * k,$$

где Δt – среднелогарифмическая температура, °C;

k – коэффициент теплопередачи, ккал/м²*ч*°C.

Среднелогарифмическая температура находится:

$$\Delta t = \frac{T_{\text{вых}} - T_{\text{вх}}}{2,3 * \lg * \frac{t_{\text{п}} - T_{\text{вх}}}{t_{\text{п}} - T_{\text{вых}}}} = 62,4 \text{ } ^\circ\text{C},$$

где $T_{\text{вых}}$, $T_{\text{вх}}$ – температуры воды и конденсата до и после охладителя выпара.

Коэффициент теплопередачи определили по следующему соотношению [18]:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{\text{п}}} + \frac{\delta}{\lambda_{\text{ст}}} + \frac{1}{\alpha_{\text{в}}}},$$

где $\alpha_{\text{п}}$ – коэффициент теплоотдачи пара к стенке трубки ккал/м²*°C;

δ – толщина стенок трубной доски теплообменника, м;

$\lambda_{\text{ст}}$ – коэффициент теплопроводности металла трубок теплообменника, ккал/м*ч*°C;

$\alpha_{\text{в}}$ – коэффициент теплоотдачи стенок трубок к охлаждающей воде трубки ккал/м²*°C.

Практически все теплообменники имеют стандартные размеры трубок: внутренний диаметр 16мм, толщина стенок $\delta = 2$ мм. При охлаждении важно выдерживать скорость движения среды (w) во внутренней полости теплообменника. Для латунных трубок w равна 2,5 м/с, для нержавеющей стали – 4м/с соответственно.

Коэффициент теплоотдачи от пара к стенке трубы составит:

$$\alpha_{\text{п}} = \frac{F}{Q * (t_{\text{н}} - t_{\text{с}})},$$

где F – площадь поверхности теплообмена, м²;

Q – тепловой поток передаваемый от пара к стенке трубы, Вт;

$t_{\text{н}}$ – температура насыщения пара, °C;

$t_{\text{с}}$ – температура поверхности стенки, °C.

Коэффициент теплоотдачи от стенки трубки к охлаждающей воде:

$$\alpha_{\text{в}} = z * \frac{w}{d_{\text{н}}},$$

где z – коэффициент, зависящий от температуры охлаждающей воды;

w – скорость охлаждающей воды в трубной системе теплообменника, м/с;

$d_{\text{н}}$ – внутренний диаметр трубок теплообменника, м.

По результатам расчетов $k=3225$, тогда площадь поверхности теплообмена равна $F=9,54 \text{ м}^2$.

По результатам вычислений выбрали теплообменник ОВА-16, площадь поверхности теплообмена, которого равна 16 м².

Для стабильного охлаждения выпара рассчитали необходимое количество охлаждающей воды, здесь следует отметить, что на входе в теплообменник должно быть постоянное значение температуры охлаждающей воды:

$$G_{\text{в}} = 2,5 \text{ кг/с} = 9 \text{ т/ч}.$$

При охлаждении выпара происходит нагрев обратной сетевой воды, при расходе 10,99 т/ч дополнительный нагрев сетевой воды составит 0,0165 Гкал/ч, при средней цене сетевой воды на ТЭЦ от 850 до 950 рублей за 1 Гкал/ч экономический эффект от нагрева сетевой воды может составить от 14 до 16,67 рублей в час, при расходе 21,99 т/ч дополнительный нагрев сетевой воды составит 0,033 Гкал/ч, следовательно, экономический эффект от нагрева сетевой воды может составить от 28 до 31,3 рублей в час.

Таким образом, в качестве экономии ($\Delta \text{Э}$) принимаем:

– при минимальном расходе выпара 2,5 т/ч на нагрев сетевой воды, в течении отопительного периода (в среднем 245 дней) 82320–98020 рублей;

– при максимальном расходе выпара 5 т/ч на нагрев сетевой воды, в течении отопительного периода (в среднем 245 дней) 164640–184044 рублей.

Отдельно стоит отметить экономию на подготовку химически очищенной воды (ХОВ) на ТЭЦ. На данный момент подготовка ХОВ обходится от 45 до 60 рублей, таким образом, в течение года можно, сэкономив на ХОВ от 2,5 до 5 т/ч воды. При минимальном расходе выпара 2,5 т/ч экономия на подготовке воды составит от 112,5 до 150 рублей в час, а при максимальном расходе выпара 5 т/ч экономия составит уже 225 и 300 рублей в час соответственно.

Таким образом, суммарная экономия от предложенного мероприятия составит: при минимальном расходе выпара 2,5 т/ч – 730 320 – 962 020 рублей в год; при максимальном расходе выпара 5 т/ч – 1 460 640 – 2 812 044 рублей в год.

Заключение (Conclusions)

Наиболее важной частью реализации электрической энергии как товара является достижение максимальной компенсации (минимизации) топливной составляющей на производство электрической энергии. Чем ниже удельный расход топлива на выработку электрической и тепловой энергии, тем будет выше процент чистого дохода, созданного в процессе производства и реализации в сфере обращения электрической энергии и мощности, который непосредственно получает предприятие, что в целом положительно влияет на улучшение конечного финансового результата на рынке. Использование низкопотенциальной энергии позволяет снизить затраты собственных нужд на подготовку химически обессоленной воды при расходе выпара 2,5 т/ч экономия на химической подготовке воды может составить до 150 рублей в час, а при расходе выпара 5 т/ч экономия может составить до 300 рублей в час. Экономический эффект от нагрева сетевой воды в течении отопительного периода сможет составить при расходе выпара 2,5 т/ч до 98020 рублей; при расходе выпара 5 т/ч до 184044 рублей в год.

Таким образом, внедрение предложенного мероприятия утилизации выпара из расширителей конденсата будет способствовать снижению выбросов низкопотенциального пара в атмосферу, снижению потерь тепловой энергии, пара и конденсата, что приведет к улучшению технико-экономических показателей ТЭЦ.

Литература

1. Соколов В.А. Энергоемкость экономики России и основные направления по ее сокращению // Энергетическая политика. 2023. №7. С.46-66.
2. МЭА. Key World Statistics. 2020. [Электронный ресурс]. Режим доступа <http://www.iea.org/reports/key-world-energy=statistics-2020/> Дата доступа: 01.08.2024).
3. Галустов В. С. Утилизация тепла и конденсата паровых выбросов Охрана труда и техника безопасности на промышленных предприятиях. 2010. № 11. С. 14-16.
4. Марьин Г. Е. Сопина Ю. В. Применение технологий нетрадиционных и возобновляемых источников энергии в цикле ТЭС // Повышение эффективности производства и использования энергии в условиях Сибири. Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием. Иркутск: Иркутский национальный исследовательский технический университет, 2021. Том 1. С. 252-256.
5. Гафуров А. М. Способ преобразования сбросной низкопотенциальной теплоты ТЭС // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2015. № 4(28). С. 28-32.
6. Шарапов В. И., Кубашов С. Е. Регенерация низкопотенциальных потоков теплоты тепловых электрических станций // Труды Академэнерго. 2009. № 2. С. 81-97.
7. Клыков Н. Д. Выбор варианта утилизации теплоты пара низких параметров // Энергетика теплотехнологий. 2019. № 1(5). С. 2-6.
8. Плотников В. П. Исследование разрушения бетона в лаборатории отрывом импульсами давления воды // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2006. № 10. С. 44-52.
9. Федосов О. С. В., Румянцева В. Е., Хрунов В. А. О некоторых проблемах технологии безопасности и долговечности зданий, сооружений и инженерной инфраструктуры // Строительные материалы. 2015. № 3. С. 8-11.
10. Хвостиков А. С. Сокращение тепловых выбросов электростанций // Дальневосточная весна – 2020. 18-я Международная научно-практическая конференция по проблемам экологии и безопасности. Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2020. С. 40-42.
11. Трещева М. А., Аникина И. Д., Трещев Д. А. Перспективы снижения объемов водопользования ТЭС России вследствие применения тепловых насосов // Теплоэнергетика. 2022. № 1. С. 18-31. – DOI 10.1134/S0040363621110060.
12. Аникина И. Д., Трещева М. А., Скулкин С. В. Применение тепловых насосов для энерго- и ресурсосбережения на ТЭС // Санкт-Петербург: ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», 2021. 118 с. – ISBN 978-5-7422-7305-9.

13. Менделеев Д. И., Марьин Г. Е., Галицкий Ю. Я., Ахметшин А. Р. Исследование влияния условий эксплуатации на эффективность использования абсорбционно-холодильной машины в цикле газотурбинных и парогазовых установок // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2020. Т. 24. № 4(153). С. 821-831. – DOI 10.21285/1814-3520-2020-4-821-831.

14. Догадин Д. Л., Анохин А. Б., Латыпов Г. Г. Применение абсорбционных бромисто-литиевых холодильных машин в производственном цикле электрических станций // Электрические станции. 2014. № 10(999). С. 40-46.

15. Бартевев А. И. Оценка эффективности применения АБТТ на ТЭЦ и ЦТП в системах теплоснабжения // Энергосбережение - теория и практика. Девятая Международная школа-семинар молодых ученых и специалистов. Москва: МЭИ, 2018. С. 163-166.

16. Зверев Л. О., Злобин В. Г., Липатов Д. В., Зверева Э. Р. Применение блочного дожигающего устройства в котлах-утилизаторах ПГУ // Современные проблемы теории машин. 2023. № 15. С. 78-80.

17. Аминов Р.З., Новичков С.В. Использование абсорбционной бромисто-литиевой холодильной машины для повышения эффективности работы воздушно-аккумулирующей газотурбинной электростанции. Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2017. № 19 (11-12). С. 62-72.

18. Липин А.А., Романенко Ю.Е., Шибашов В. А., Липин А.Г. Расчет теплообменных аппаратов. Кожухотрубчатые теплообменники. Учебное пособие. Иваново, 2017. – 76 с.

19. Павлов К. Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. Учебное пособие. Изд. 10-е, перераб. и доп.- М.: Альянс, 2019. 576 с. – ISBN 978-5-91872-031-8.

Авторы публикации

Зверева Эльвира Рафиковна – д-р техн. наук, профессор кафедры «Инженерная экология и безопасность труда» Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ), г. Казань, Россия. *E-mail: belvira6@list.ru.*

Марьин Георгий Евгеньевич – канд. техн. наук, доцент кафедры «Энергетическое машиностроение» Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ), г. Казань, Россия.

Ишалин Александр Вениаминович – аспирант кафедры «Энергетическое машиностроение» Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ), г. Казань, Россия.

References

1. Sokolov V.A. Energy intensity of the Russian economy and the main directions for its reduction // Energy policy. 2023. No.7. pp.46-66.

2. IEA. Key World Statistics. 2020. [electronic resource]. Access mode <http://www.iea.org/reports/key-world-energy=statistics-2020/> Access date: 01.08.2024).

3. Galustov V. S. Utilization of heat and condensate of steam emissions Labor protection and safety at industrial enterprises. 2010. No. 11. pp. 14-16.

4. Maryin G. E. Sopina Yu. V. Application of technologies of non-traditional and renewable energy sources in the TPP cycle // Improving the efficiency of energy production and use in Siberia. All-Russian scientific and practical conference with international participation. Irkutsk: Irkutsk National Research Technical University, 2021. Volume 1. pp. 252-256.

5. Gafurov A.M. A method for converting low-potential waste heat from thermal power plants // Bulletin of the Kazan State Energy University. 2015. No. 4 (28). pp. 28-32.

6. Sharapov V. I., Kubashov S. E. Regeneration of low-potential heat fluxes of thermal power plants // Proceedings of Akademenergo. 2009. No. 2. pp. 81-97.

7. Klykov N. D. The choice of a low-parameter steam heat utilization option // Energetics of thermal technologies. 2019. No. 1(5). pp. 2-6.

8. Plotnikov V. P. Investigation of concrete destruction in the laboratory by separation by pulses of water pressure // Mining information and analytical bulletin. 2006. No. 10. pp. 44-52.

9. Fedosov O. S. V., Rumyantseva V. E., Khrunov V. A. On some problems of safety technology and durability of buildings, structures and engineering infrastructure // Building materials. 2015. No. 3. pp. 8-11.

10. Khvostikov A. S. Reduction of thermal emissions from power plants //Far Eastern spring 2020. The 18th International Scientific and Practical Conference on Environmental and Safety Issues. Komsomolsk-on-Amur: Komsomolsk-on-Amur State University, 2020. pp. 40-42.

11. Treshcheva M. A., Anikina I. D., Treshchev D. A. Prospects for reducing the volume of water use of thermal power plants in Russia due to the use of heat pumps // Thermal power engineering. 2022. No. 1. pp. 18-31. – DOI 10.1134/S0040363621110060.
12. Anikina I. D., Treshcheva M. A., Skulkin S. V. The use of heat pumps for energy and resource saving at thermal power plants // St. Petersburg: St. Petersburg Polytechnic University of Peter the Great, 2021. 118 p. - ISBN 978-5-7422-7305-9.
13. Mendeleev D. I., Maryin G. E., Galitsky Yu. Ya., Akhmetshin A. R. Investigation of the influence of operating conditions on the efficiency of using an absorption refrigerating machine in the cycle of gas turbine and combined-cycle gas installations // Bulletin of the Irkutsk State Technical University. 2020. Vol. 24. No. 4 (153). pp. 821-831. – DOI 10.21285/1814-3520-2020-4-821-831.
14. Gadadin D. L., Anokhin A. B., Latypov G. G. Application of absorption lithium bromide refrigerating machines in the production cycle of electric power plants // Electric stations. 2014. No. 10(999). pp. 40-46.
15. Bartenev A. I. Evaluation of the effectiveness of the use of ABTT at CHP and TSTP in heat supply systems // Energy saving - theory and practice. The Ninth International School is a seminar for young scientists and specialists. Moscow: MEI, 2018. pp. 163-166.
16. Zverev L. O., Zlobin V. G., Lipatov D. V., Zvereva E. R. The use of a block afterburning device in CCGT recovery boilers // Modern problems of machine theory. 2023. No. 15. pp. 78-80.
17. Aminov R.Z., Novikov S.V. The use of an absorption lithium bromide refrigerating machine to increase the efficiency of an air-accumulating gas turbine power plant. News of higher educational institutions. Energy problems. 2017. No. 19 (11-12). pp. 62-72.
18. Lipin A.A., Romanenko Yu.E., Shibanov V. A., Lipin A.G. Calculation of heat exchangers. Shell-and-tube heat exchangers. A study guide. Ivanovo, 2017. – 76 p.
19. Pavlov K. F., Romankov P.G., Noskov A.A. Examples and tasks in the course of processes and devices of chemical technology. A study guide. 10th edition, revised. and additional.- M.: Alliance, 2019. 576 p. – ISBN 978-5-91872-031-8.

Authors of the publication

Elvira R. Zvereva – Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia. E-mail: *belvira6@list.ru*.

George E. Marin – Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia.

Alexander V. Ishalin – Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia.

Шифр научной специальности: 2.4.5. Энергетические системы и комплексы

Получено **13.08.2024 г.**

Отредактировано **12.11.2024 г.**

Принято **20.11.2024 г.**