

ПРОЕКТИРОВАНИЕ, ИССЛЕДОВАНИЯ, РАСЧЕТЫ

<https://doi.org/10.24223/1999-5555-2020-13-2-97-104>
УДК 546.74:546.47:621.57

Использование низкотемпературных ВЭР с применением трансформаторов теплоты в цветной металлургии

Прищепова С. А.^{1*}, Султангузин И. А.¹, Алимгазин А. Ш.², Евсеенко И. В.³, Федюхин А. В.¹, Бартенев А. И.¹, Яворовский Ю. В.¹

¹ ФГБОУ ВО НИУ «МЭИ»

ул. Красноказарменная, 14, 111250, г. Москва, Россия

² Евразийский национальный университет им. Л. Н. Гумилева

ул. Сатпаева, 2, 010008, г. Нур-Султан Республика Казахстан

³ ООО «Промэнергоконсалтинг»

ул. Молдагуловой, 16, к. 1, 111395, г. Москва, Россия

Поступила / Received 05.04.2020

Принята к печати / Accepted for publication 10.06.2020

Рассматриваются концепции разработки эффективных и надежных схем использования сбросового тепла низкопотенциальных энергоресурсов в трансформаторах теплоты (ТТ). Приводятся примеры использования ТТ в нескольких производствах цветной металлургии России и Казахстана: производство никеля, цинка и ферросплавов. В случае с никелевым производством к рассмотрению предлагаются две схемы: для летнего и зимнего режимов. Основным объектом исследования является схема производства никеля с использованием абсорбционной бромисто-литиевой холодильной машины (АБХМ). В предлагаемой схеме для АБХМ основным источником утилизируемой низкопотенциальной сбросовой теплоты является обратная вода производства. Холод, полученный в АБХМ, необходим для технологического процесса. Произведен расчет основных параметров при различных экстремальных условиях, оценен энергетический эффект от модернизации схемы и подобран оборудование. Исследования показали целесообразность внедрения АБХМ в схемы с большим количеством сбросового тепла. Утилизация низкопотенциальной теплоты производства никеля с использованием теплонасосной установки (ТНУ) в зимний период позволяет получить тепловую энергию на подогрев воды тепловой сети и сырой воды на подпитку котельной ТЭЦ.

Другим примером использования ТТ является применение ТНУ на производстве цинка и ферросплавов. ТНУ предназначена для подогрева питательной воды перед химводоочисткой и одновременно "захолаживания" обратной воды, которая затем используется для электролиза, замещая покупную артезианскую воду. В зимний период произведенное в ТНУ тепло используется для нужд отопления, вентиляции и горячего водоснабжения, что позволяет отказаться от услуг сторонней ТЭЦ.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: абсорбционная холодильная машина, вторичные энергоресурсы, низкопотенциальные энергоресурсы, теплонасосная установка, утилизация теплоты, энергетическая эффективность

Адрес для переписки:

Прищепова С. А.
ФГБОУ ВО НИУ «МЭИ», кафедра ПТС
ул. Красноказарменная, 17, 111250, г. Москва, Россия
e-mail: prischepova@gmail.com

Для цитирования:

Прищепова С. А., Султангузин И. А., Алимгазин А. Ш., Евсеенко И. В., Федюхин А. В., Бартенев А. И., Яворовский Ю. В. Использование низкотемпературных ВЭР с применением трансформаторов теплоты в цветной металлургии. Надежность и безопасность энергетики. 2020. – Т. 13, №2. – С. 97 – 104.
<https://doi.org/10.24223/1999-5555-2020-13-2-97-104>

Address for correspondence:

Prishchepova S. A.
National Research University "Moscow Power Engineering Institute", Department of Industrial Heat Power Engineering Systems
Krasnokazarmennaya st., 17, 111250, Moscow, Russia
e-mail: prischepova@gmail.com

For citation:

Prishchepova S. A., Sultanguzin I. A., Alimgazin A. Sh., Evseenko I. V., Fedyukhin A. V., Bartenev A. I., Yavorovsky Yu. V. [The use of low-temperature secondary energy resources using heat transformers in non-ferrous metallurgy]. Nadezhnost' i bezopasnost' energetiki = Safety and Reliability of Power Industry. 2020, vol. 13, no. 1, pp. 97 – 104. (in Russian)
<https://doi.org/10.24223/1999-5555-2020-13-2-97-104>

The use of low-temperature secondary energy resources using heat transformers in non-ferrous metallurgy

Prishchepova S. A.^{1*}, Sultanguzin I. A.¹, Alimgazin A. Sh.², Evseenko I. V.³, Fedyukhin A.V.¹, Bartenev A. I.¹, Yavorovsky Yu. V.¹

¹ National Research University "Moscow Power Engineering Institute"
Krasnokazarmennaya st., 14, 111250, Moscow, Russia

² L. N. Gumilyov Eurasian National University
Satpaev st., 2, 010008, Nur-Sultan, Republic Kazakhstan

³ LLC "Promenergoconsulting"
Moldagulovoy st. 16/1, 111395, Moscow, Russia

The concepts of developing efficient and reliable schemes for the use of waste heat of low-potential energy resources in heat transformers (HT) are considered. Examples of using HT in several non-ferrous metallurgy plants in Russia and Kazakhstan are given: the production of nickel, zinc and ferroalloys. In the case of nickel production, two schemes are proposed for consideration: for summer and winter modes. The main object of study is a nickel production scheme using a lithium bromide absorption chiller (AbCh). Recycled water is the main source of utilized low-grade waste heat for AbCh. The cold obtained in AbCh is necessary for the technological process. The basic parameters were calculated under various extreme conditions, the energy effect of the modernization of the circuit was estimated, and equipment was selected. Studies have shown the feasibility of introducing AbCh into circuits with a large amount of waste heat. Low-grade heat utilization of nickel production using heat pump unit (HPU) in winter allows to obtain heat energy for heating water from the heating network and raw water for feeding the boiler house of a thermal power plant.

Another example of HT use is a heat pump unit (HPU) in the production of zinc and ferroalloys. HPU is designed to heat feed water before chemical water purification and at the same time "cool down" the circulating water, which is then used on a series of electrolysis, replacing purchased artesian water. In winter, the heat produced at HPU is used for heating, ventilation and hot water supply, which allows to dispense with the services of a third-party thermal power plant.

KEYWORDS: absorption chiller, secondary energy resources, low-potential energy resources, heat pump unit, heat recovery, energy efficiency

С годами проблема повышения энергетической эффективности путем использования вторичных энергетических ресурсов (ВЭР) становится более актуальной и приобретает мировое значение. Это обусловлено уменьшением количества органического топлива, его удорожанием на мировом рынке и обострением экологических проблем. Ограничение использования ВЭР приводит к тепловому загрязнению окружающей среды. Особое внимание следует уделять крупным отраслям, например, цветной металлургии, где имеется большое количество избыточного тепла в виде промышленных стоков или оборотных циклов. Данный избыток теплоты может использоваться в ТТ для выработки холода или тепла с более высоким потенциалом [1, 2]. Теплота промышленных сточных вод или оборотных циклов может быть трансформирована в тепло горячей воды, пригодной для нужд горячего водоснабжения (ГВС), отопления или вентиляции предприятия или близ находящихся населенных пунктов [3 – 5]. Преобразование сбросовой теплоты в холод стало возможным с появлением абсорбционных холодильных машин. Полученный холод может использоваться, как в технологических процессах предприятия, так и для нужд кондиционирования зданий.

Рассматривается модернизированная технология производства никеля в России, которая требует постоянного поддержания температурного уровня оборотной воды на входе в производство не более 20°C в

зимний и летний периоды. Также приводится пример успешного внедрения ТТУ при производстве цинка и рассматриваются перспективы их применения на заводе ферросплавов в Республике Казахстан.

Использование ТТ в цехе для производства никеля

В качестве исходных данных для проработки технических решений по использованию ВЭР, образующихся при производстве, рассмотрены теплотехнические показатели нового производства никеля, включающего производство кобальта, утилизацию солевых стоков и переработку остатка хлорного растворения.

Ниже приведен вариант расчета для утилизации избыточного количества реакционного тепла трубчатых печей установки производства никеля (УПН). В соответствии с технологией требуется охлаждение 400 м³/ч с 85 до 20°C.

Наиболее ответственным является не только использование ВЭР, но и обеспечение устойчивого технологического процесса с охлаждением теплоносителя до заданных температур, как в зимний, так и летний периоды.

Способы утилизации тепла

На рисунке 1 представлена совокупная схема утилизации теплоты для летних и зимних режимов.

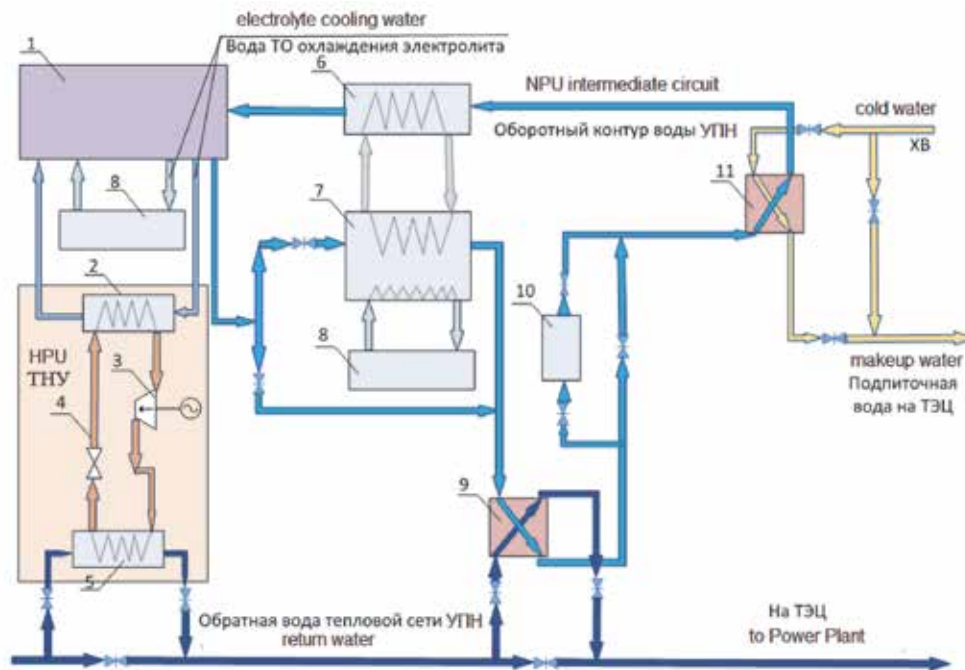


Рисунок 1. Совокупная схема варианта утилизации теплоты. 1 — установка производства никеля (УПН); 2 — испаритель теплового насоса; 3 — компрессор теплового насоса; 4 — дроссель; 5 — конденсатор теплового насоса; 6 — водо-водяной теплообменник АБХМ; 7 — АБХМ; 8 — градирни; 9 — водо-водяной теплообменник для подогрева обратной воды; 10 — комплекс сухих градирен; 11 — водо-водяной теплообменник подогрева подпиточной воды ТЭЦ

Figure 1. The general scheme of heat recovery. 1 — installation of nickel production (INP); 2 — heat pump evaporator; 3 — heat pump compressor; 4 — throttle; 5 — heat pump capacitor; 6 — water-water heat exchanger of AbCh; 7 — AbCh; 8 — cooling towers; 9 — water-to-water heat exchanger for return water heating; 10 — a complex of dry cooling towers; 11 — water-to-water heat exchanger for thermal power station make-up water heating

Предлагается рассмотреть два способа утилизации тепла ВЭР:

- с охлаждением до 20°C с помощью АБХМ [6] в летний период возврата воды после утилизации реакционного тепла УПН на подогрев обратной воды тепловой сети в цехе электролиза никеля и холодной воды подпитки котельной ТЭЦ. Вода охлаждения электролита летом охлаждается от оборотного цикла с градирней, так как это тепло невозможно использовать.
- в зимний период необходимо использовать тепловые насосы от теплообменников охлаждения электролита на подогрев обратной воды тепловой сети в цехе электролиза никеля и холодной воды подпитки котельной ТЭЦ. Это обусловлено тем, что зимой вполне достаточно охлаждения оборотного контура воды УПН в теплообменниках 9 и 11 и не требуется дополнительного холода от АБХМ (рисунок 1).

Утилизация ВЭР УПН в АБХМ в летний период

Модернизированная технология производства никеля требует постоянного поддержания температурного уровня оборотной воды цеха электролиза никеля на входе не более 20°C. В соответствии с этим, а также для утилизации тепла выходящей оборотной воды, предлагается использовать АБХМ.

Выбор АБХМ обусловлен следующими преимуще-

ствами в сравнении с компрессионными холодильными машинами:

- Минимальное потребление электроэнергии. Электроэнергия требуется для работы насосов и автоматики.
- Минимальный уровень шума.
- Экологически безопасные. Хладагентом является обычная вода [7].
- Утилизируют тепловую энергию сбрасываемой горячей воды, дымовых газов или производственных процессов.
- Длительный срок службы (не менее 20 лет).
- Полная автоматизация.
- Пожаро- и взрывобезопасность.

Принцип работы схемы следующий: поток нагретой в процессе производства (1) до температуры $t_{ц1} = 84-85^\circ\text{C}$ воды направляется для использования в качестве греющей воды в контур абсорбционной холодильной машины (3), где охлаждается на $\Delta t_{трв} = 10-11^\circ\text{C}$, далее поступает в теплообменник (5) для подогрева обратной воды, после чего дополнительно охлаждается в теплообменнике подогрева подпиточной воды (7), выходит из него с температурой $t_{ц4} = 25-27^\circ\text{C}$ и дополнительно охлаждается в теплообменнике (2) до температуры $t_{ц5} = 19,5-20^\circ\text{C}$, после чего возвращается в УПН (рисунок 2).

Для обеспечения необходимого температурного уровня оборотной воды цеха электролиза никеля в

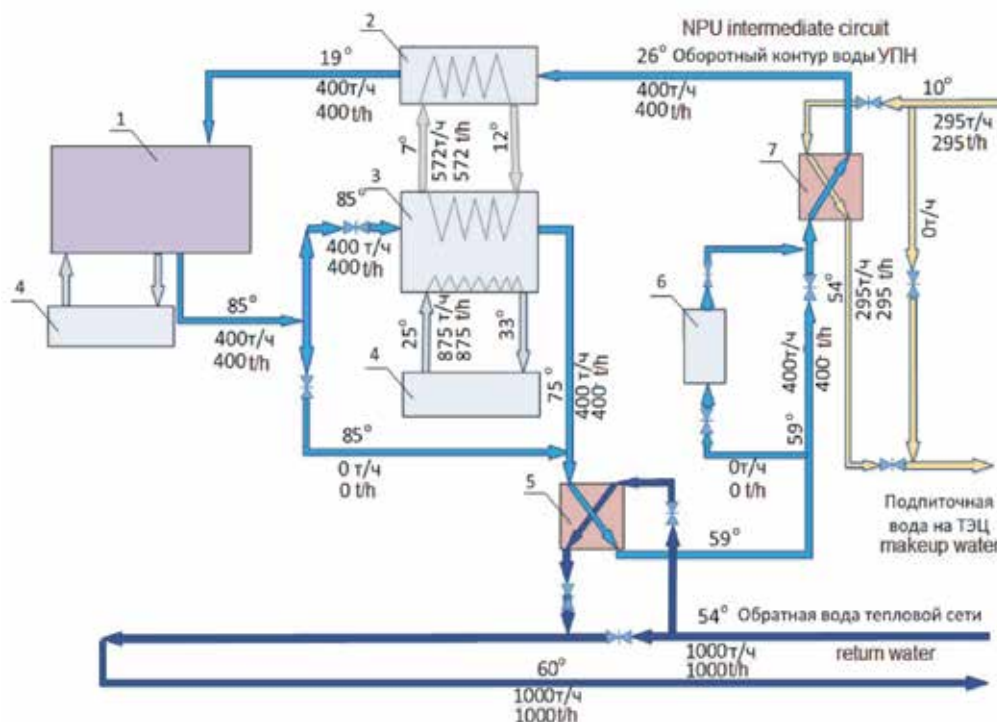


Рисунок 2. Принципиальная схема водяного контура УПН с параметрами подпиточной воды $G_{\text{пв}} = 295 \text{ т/ч}$, $t_{\text{пв}} = 10^\circ\text{C}$. 1 — установка производства никеля (УПН); 2 — водо-водяной теплообменник АБХМ; 3 — АБХМ; 4 — градирни; 5 — водо-водяной теплообменник для подогрева обратной воды; 6 — комплекс сухих градирен; 7 — водо-водяной теплообменник подогрева подпиточной воды ТЭЦ

Figure 2. Schematic diagram of the nickel production installation water circuit with make-up water parameters $G_{\text{mw}} = 295 \text{ т/ч}$, $t_{\text{mw}} = 10^\circ\text{C}$. 1 — nickel production installation (NPI); 2 — water-water heat exchanger of AbCh; 3 — AbCh; 4 — cooling towers; 5 — water-to-water heat exchanger for return water heating; 6 — a complex of dry cooling towers; 7 — water-to-water heat exchanger for thermal power station make-up water heating

экстремальных условиях предусмотрен комплекс сухих градирен (6). В этих случаях часть потока оборотной воды отбирается из основного коллектора и охлаждается в сухих градирнях, после чего смешивается с основным потоком.

В рамках разработки и моделирования схемных решений были рассмотрены три критических точки с различными показателями температур ($t_{\text{пв}}$) и расходов ($G_{\text{пв}}$) подпиточной холодной воды, расходуемой ТЭЦ:

- $G_{\text{пв}} = 250 \text{ т/ч}$, $t_{\text{пв}} = 10^\circ\text{C}$;
- $G_{\text{пв}} = 295 \text{ т/ч}$, $t_{\text{пв}} = 10^\circ\text{C}$, расход принят средним по часовым показаниям за самый теплый день лета, температура воды принята также с запасом $\Delta t = 1^\circ\text{C}$ (рисунок 2);
- $G_{\text{пв}} = 295 \text{ т/ч}$, $t_{\text{пв}} = 15^\circ\text{C}$.

Для моделирования были приняты следующие условия:

- Температура наружного воздуха 20°C , давление — 760 мм. рт. ст.;
- Температура оборотной воды на входе в УПН не превышает 20°C ;
- Расход охлаждаемой воды принят пропорционально показателям холодильной машины АБХМ-Вн-10 производства ОАО «Теплосибмаш», температурный уровень охлаждающей воды – $7/12^\circ\text{C}$;
- Расход охлаждающей воды вычислялся программно из условия поддержания температурного уровня

$25/33^\circ\text{C}$;

- Для экстренных ситуаций предусмотрено охлаждение в сухих градирнях до 35% потока после теплообменника 5 подогрева обратной воды;
- Для выравнивания колебания расходов подпиточной воды предусматривается бак-аккумулятор нагретой воды после теплообменника.

Компьютерное моделирование новой схемы производства никеля проводилось в программной среде Thermoflex (рисунок 3). Thermoflex представляет собой модульную программу с графическим интерфейсом. Пользователь может создать модель любой станции с помощью более ста семидесяти пяти символьных изображений, содержащихся в ее базе данных. Возможно также моделировать практически любые типы современных установок и теплоисточников совместно с тепловыми сетями [8–9].

Расчетное моделирование показало достаточность данного исполнения схем для поддержания технологических нужд и оптимальность использования потенциала оборотной воды производства.

Основные характеристики смоделированной холодильной машины представлены в таблице 1.

Остальные показатели температур и расходов схемного решения см. рисунок 2.

Утилизация сбросового тепла в АБХМ не только снижает расход первичного топлива, но и тепловое за-

Таблица 1. Теплотехнические показатели ограждений здания
Table 1. Thermal indexes of building enclosures

Параметр Parameter	Характеристики Characteristics
Расход греющей воды, м ³ /ч heating water flow, m ³ /h	400
Расход охлаждаемой воды, м ³ /ч cooled water flow, m ³ /h	572
Расход охлаждающей воды, м ³ /ч cooling water flow, m ³ /h	874
Температура охлаждаемой воды cooled water temperature	12/7°C
Температура охлаждающей воды cooling water temperature	25/33°C
Температура греющей воды heating water temperature	85/74°C

грязнение окружающей среды. Для АБХМ в качестве источника тепловой энергии используется вода промежуточного контура утилизации реакционного тепла УПН с температурой 85°C и расходом до 400 м³/ч.

В АБХМ греющая вода охлаждается с 85°C до 74,47°C.

Расход тепловой энергии с греющей водой в АБХМ составляет 4,9 МВт. Далее она поступает на теплообменник нагрева обратной воды тепловой сети УПН с 54°C до 60°C с расходом 1000 м³/ч, который характерен для зимних режимов. Греющая вода в теплообменнике нагрева воды теплосети УПН охлаждается с 74,47°C до 59°C. Тепловая нагрузка этого теплообменника составляет 7,2 МВт.

Далее она поступает на теплообменник нагрева сырой воды на подпитку котельной ТЭЦ, где охлаждается с 59°C до 26,17°C. Сырая вода при этом нагревается с 10°C до 54,12°C. Тепловая нагрузка этого теплообменника составляет 15,3 МВт.

В АБХМ вода с температурой 26,17°C охлаждается до 19,13°C за счет охлажденной воды, которая нагревается с 7°C до 12°C. После чего вода с расходом 400 м³/ч и температурой 19,1°C возвращается в промежуточный контур утилизации реакционного тепла УПН.

Таким образом, в качестве полезной тепловой энергии при утилизации реакционного тепла УПН получаем 27,4 МВт и в качестве холода на АБХМ – 3,3 МВт. Исходя из полученных результатов расчета, в качестве варианта может быть рассмотрена установка двух

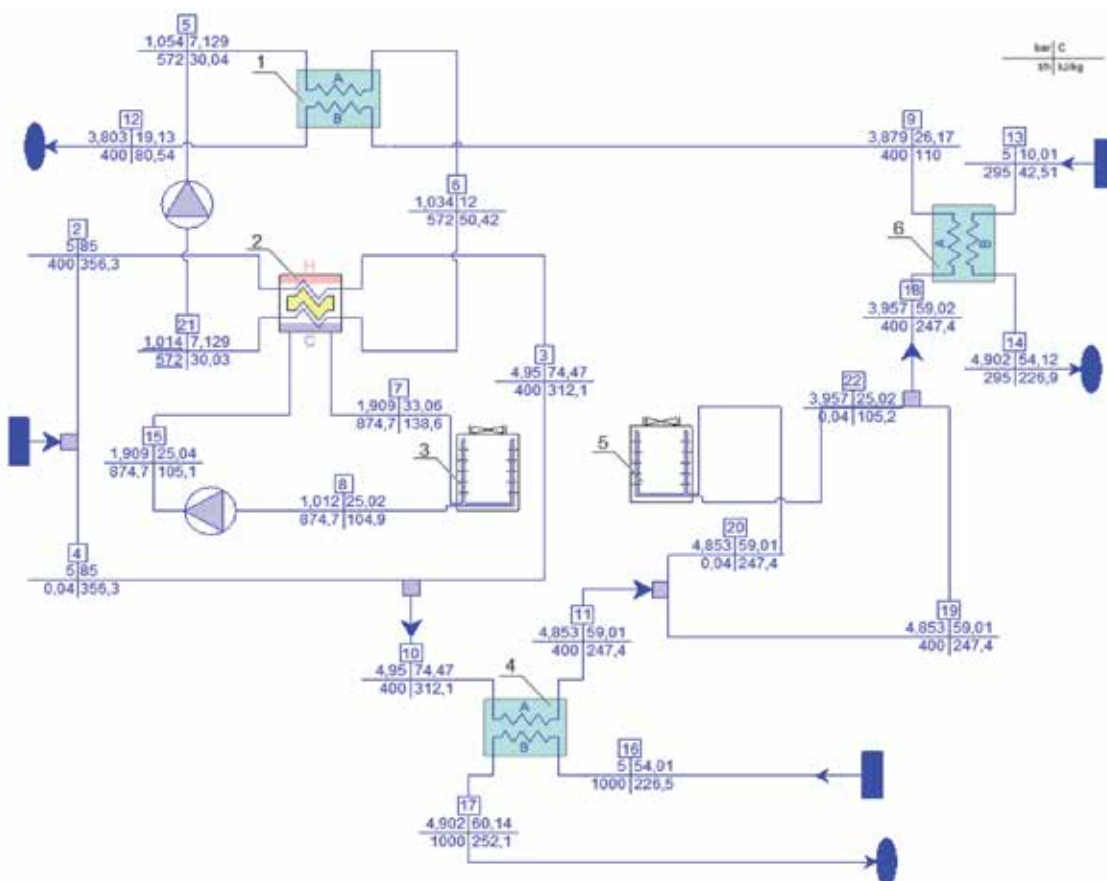


Рисунок 3. Расчет схемы водяного контура УПН с параметрами подпиточной воды $G_{\text{пв}} = 295 \text{ т/ч}$, $t_{\text{пв}} = 10^\circ\text{C}$ в THERMOFLEX. 1 — водо-водяной теплообменник АБХМ; 2 — АБХМ; 3 — градирни; 4 — водо-водяной теплообменник для подогрева обратной воды; 5 — комплекс сухих градирен; 6 — водо-водяной теплообменник подогрева подпиточной воды ТЭЦ

Figure 3. Calculation of the NPI water circuit diagram with make-up water parameters $G_{\text{mw}} = 295 \text{ t/h}$, $t_{\text{mw}} = 10^\circ\text{C}$ in THERMOFLEX. 1 — water-water heat exchanger of AbCh; 2 — AbCh; 3 — cooling towers; 4 — water-to-water heat exchanger for return water heating; 5 — a complex of dry cooling towers; 6 — water-to-water heat exchanger for thermal power station make-up water heating

АБХМ-2000Вн производства ОАО «Теплосибмаш» с суммарной холодопроизводительностью 3600 кВт.

Для АБХМ необходим также контур охлаждающей воды с параметрами охлаждения с 33°C до 25°C. В качестве контура охлаждения может использоваться система оборотного водоснабжения завода или собственная локальная малоразмерная градирня.

Утилизация ВЭР УПН с помощью ТН в зимний период

На рисунке 4 представлена схема утилизации низкопотенциальной теплоты с использованием теплового насоса от теплообменников охлаждения электролита на подогрев обратной воды тепловой сети в УПН в зимний период при температуре наружного воздуха –15°C [10, 11].

Применение теплового насоса позволяет снизить температуру воды при расходе 550 т/ч с теплообменника охлаждения электролита с 50°C до 40°C.

Мощность компрессора парокомпрессионной ТНУ составляет 1017 кВт при степени сжатия 2,2. Коэффициент трансформации тепла COP (coefficient of performance) получается достаточно высоким:

$$COP = \frac{Q_T}{N_K} = \frac{7226 \text{ кВт}}{1017 \text{ кВт}} = 7,11$$

Тепловой насос позволяет произвести тепловой энергии на нагрев воды тепловой сети УПН $Q_T = 7226$ кВт.

В качестве полезной тепловой энергии при утилизации реакционного тепла УПН на подогрев воды тепловой сети и сырой воды на подпитку котельной ТЭЦ получаем 37,2 МВт.

Применение ТТ при производстве цинка

В настоящее время применение ТНУ в России и странах СНГ только начинает становиться популярным. Так, в Республике Казахстан примером использования ТНУ является тепловой насос НТ-3000 мощностью 3 МВт на АО «Казцинк» (г. Усть-Каменогорск). ТНУ предназначена для подогрева питательной воды перед химводоочисткой с + 8°C до + 40°C и одновременного "захлаживания" оборотной воды, которая затем используется при электролизе. Охлаждение оборотной воды позволяет заместить покупную артезианскую воду и тем самым сократить материальные затраты производства.

В таблице 2 приведены результаты внедрения теплового насоса НТ-3000.

На рисунках 5а и 5б представлен внешний вид НТ-3000. Изготовитель — ЗАО «Энергия» (г. Новосибирск).

Позднее в целях утилизации низкопотенциальной теплоты оборотных вод всего предприятия АО «Казцинк» был согласован проект теплонасосной станции мощностью 30 МВт. С помощью этого проекта появляется возможность полностью утилизировать тепло оборотной воды (29,8 МВт) и использовать это тепло в зимний период для нужд отопления, вентиляции и горячего водоснабжения, что позволит отказаться от услуг сторонней ТЭЦ [10].

В Республике Казахстан в 2018–2020 гг. проводятся НИР по оценке возможностей применения ТНУ на Аксуском заводе ферросплавов (АЗФ) — филиале АО "ТНК "Казхром" с использованием альтернативных источников энергии на различных объектах предприятия [12].

Проведены исследования перспектив применения ТНУ в тепловой схеме плавильного цеха №4 с исполь-

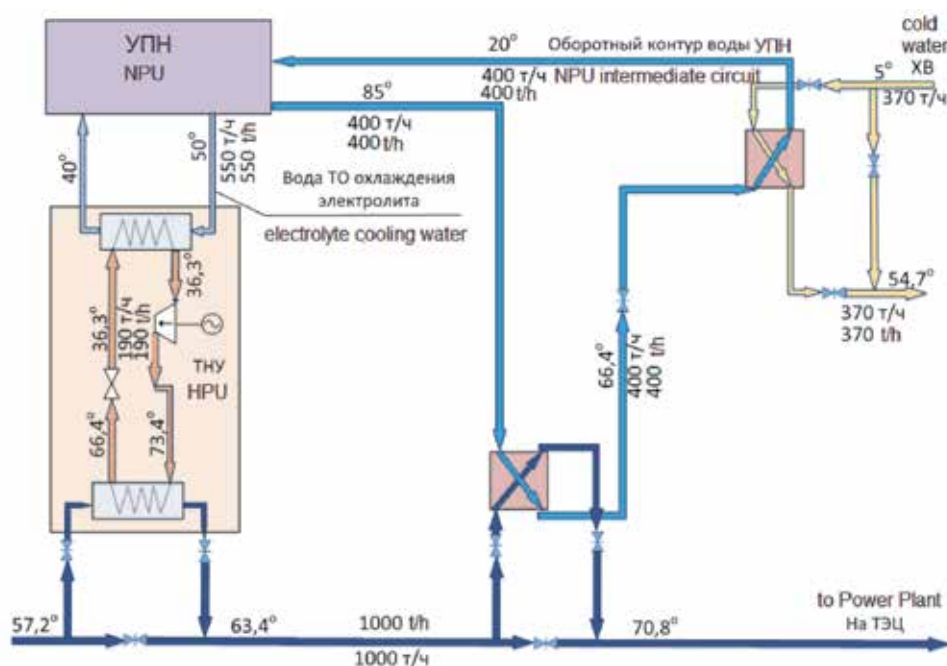


Рисунок 4. Схема утилизации низкопотенциальной теплоты с использованием теплового насоса в зимний период при температуре наружного воздуха –15°C

Figure 4. Scheme of low-grade heat utilization using a heat pump in winter at an outdoor temperature of –15°C



Рисунок 5а и б. Промышленный тепловой насос НТ-3000 на АО «Казцинк»

Figures 5a and b. The first industrial NT-3000 heat pump at Kazzinc JSC in the Republic of Kazakhstan

Таблица 2. Результаты внедрения теплового насоса НТ-3000

Table 2. the results of the heat pump NT – 3000 adoption

Показатель Index	Значение Value
К-т трансформации Coefficient of performance	6,8
«Захлаживание» оборотной воды Recycled water cooling	7,7 °C
с/ст тепловой энергии на ТНУ Cost of thermal energy at HPU	198 тенге/Гкал (tenge / Gcal)
с/ст холода Cost of cold	440 тенге/Гкал (tenge / Gcal)
Кап. Затраты на установку, в т.ч. Capital Costs, including:	27,63 млн.тенге (million tenge)
Стоимость ТНУ Cost of HPU	24,9 млн.тенге (million tenge)
Суммарная выработка тепла и холода за 1999 – 2004 гг. в денежном эквиваленте Total heat and cold production for 1999 – 2004 in cash	57,2 млн.тенге (million tenge)
Стоимость ЭЭ на привод компрессора Cost of electricity to drive the compressor	4,55 млн.тенге (million tenge)
Примерный простой срок окупаемости Estimated simple payback period	Около 2 лет About 2 years

зованием в качестве источника низкопотенциальной теплоты воды из системы оборотного водоснабжения (СОВ) — градирни предприятия с температурой до +35°C, направляемой на испарители ТНУ.

При применении ТНУ в результате использования сбросной теплоты СОВ цеха №4 АЗФ (от 4 000 до 6 000 м³/час), идущей на охлаждение в градирни предприятия, все утилизируемое тепло может быть направлено на теплоснабжение различных объектов цеха. При реализации данного проекта планируется покрытие суммарной тепловой нагрузки (отопление + горячее водоснабжение) цеха №4 предприятия 2,01 МВт.

В соответствии с исходными данными по объекту, представленными специалистами АЗФ, проведен

Таблица 3. Сравнение годовых эксплуатационных затрат на выработку тепловой энергии плавильного цеха №4 АЗФ от различных теплоисточников

Table 3. Comparison of annual operating thermal energy generation costs of the AFP smelting shop №4 from various heat sources

Название теплоисточника Heat source	Стоимость годовых эксплуатационных затрат, Эгод.экс, млн. тенге* Annual operating costs, million tenge*	Стоимость 1 Гкал/час, тенге/ Гкал (с НДС) Cost 1 Gcal/ hour Tenge/Gcal (including VAT)
Теплоснабжение цеха №4 от районной отопительной котельной (РОК-2) АЗФ Heat supply of workshop №4 from the district heat- ing plant (ROK-2) of the AFP	50,928	2 500
Теплонасосная котельная Heat pump boiler room	8,116	490

*) Данные приведены на период лето 2019 г., курс валюты равен — 1\$ = 381 тенге

*) The data are for the period summer 2019, the exchange rate is — 1\$ = 381 tenge

укрупненный расчет эффективности применения ТНУ для теплоснабжения объектов в цехе №4 (см. таблицу 3), из которого следует, что годовой экономический эффект (Эгод.экс) от применения ТНУ в цехе составит 42,812 млн. тенге, срок окупаемости предлагаемого проекта равен 3,53 года [12].

Выводы

Рассмотрены примеры использования ТТ на промышленных предприятиях.

Схема утилизации низкопотенциальной теплоты с использованием АБХМ в летний период позволяет получить в качестве полезной тепловой энергии 27,4 МВт. Источником тепловой энергии для АБХМ является вода промежуточного контура утилизации реакционного

тепла УПН с температурой 85°C и расходом до 400 м³/ч. Расчеты показывают, что АБХМ сможет производить холод в количестве 3,3 МВт с параметрами охлаждения охлаждаемой воды с 12°C до 7°C.

Утилизация низкопотенциальной теплоты УПН с использованием ТНУ тепловой мощностью 7,2 МВт в зимний период позволяет получить до 30 МВт полезной тепловой энергии на подогрев воды тепловой сети и сырой воды на подпитку.

Теплонасосная станция на АО «Казцинк» обеспечивает потребности предприятия в тепловой энергии и сокращает материальные затраты на покупку артезианской воды. Более масштабный проект станции на 30 МВт позволяет производству полностью отказаться от услуг сторонней ТЭЦ.

Список использованных источников

1. Прищепова С. А., Султангузин И. А. Применение абсорбционных холодильных машин в летний период для охлаждения дома с использованием излишков теплоты солнечных коллекторов: Труды восьмой Международной школы-семинара молодых ученых и специалистов «Энергосбережение – теория и практика». М.: Издательский дом МЭИ 2016; 411 – 414.
2. Zhiqiang L., Nan X., Sheng Y. Thermodynamic and parametric analysis of a coupled LiBr/H₂O absorption chiller / Kalina cycle for cascade utilization of low-grade waste heat. *Energy Conversion and Management* 2020; 205(112370).
3. Peizhe C., Mengxiao Y., Zhiqiang L., Zhaoyou Zh., Sheng Y. Energy, exergy, and economic (3E) analyses and multi-objective optimization of a cascade absorption refrigeration system for low-grade waste heat recovery. *Energy Conversion and Management* 2019; 184: 249 – 261.
4. Sheng Y., Yu Q., Yifan W., Siyu Y. A novel cascade absorption heat transformer process using low grade waste heat and its application to coal to synthetic natural gas 2017; 202: 42 – 52.
5. Khosrow E., Gerard F. J., Amy S. F. Thermo-economic analysis of steady state waste heat recovery in data centers using absorption refrigeration. *Applied Energy* 2015; 139: 384 – 397.
6. Прищепова С. А., Султангузин И. А. Повышение энергетической эффективности предприятия на примере применения АБХМ в горно-металлургической промышленности: Радиоэлектроника, электротехника и энергетика. М.: Издательский дом МЭИ 2016; 2: 356.
7. Keppler D. Absorption chillers as a contribution to a climate-friendly refrigeration supply regime: Factors of influence on their further diffusion. *Journal of Cleaner Production* 2018; 172: 1535 – 1544.
8. Федюхин А. В., Султангузин И. А., Курзанов С. Ю., Белов Р. Б., Бакулин А. В., Шомова Т. П. Применение прикладных программных средств для решения задач промышленной теплоэнергетики: учебное пособие. М.: Издательство МЭИ 2016; 88.
9. THERMOFLEX. Fully Flexible Heat Balance Engineering Software. THERMOFLEX User's Manual. Thermoflow, Inc 2013; 3: 1139.
10. Алимгазин А. Ш., Алимгазина С. Г., Бахтияров А. Е. Анализ перспектив применения теплонасосных технологий на металлургических предприятиях Республики Казахстан. Сборник трудов «VIII Международной научно-практической конференции «Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии в промышленности. 100 лет отечественного проектирования металлургических печей» 2016; 238 – 250.
11. Султангузин И. А., Шомова Т. П., Шомов П. А., Достовалов В. А.

Применение тепловых насосов на газоперерабатывающих предприятиях. Тезисы докладов и сообщений XV Минского международного форума по тепло- и массообмену 2016; 3; 420 – 424.

12. Алимгазин А. Ш., Алимгазина С. Г. Перспективы применения энергосберегающих теплонасосных технологий с использованием альтернативных источников энергии на Аксуском заводе ферросплавов – филиале АО «ТНХ «Казхром». Вестник ПГУ им. С. Тораигырова, серия «Энергетика» 2019; (4): 35 – 38.

References

1. Prishchepova S. A., Sultanguzin I. A. The use of absorption chillers for house cooling in the summer using the solar collectors excess heat: Proceedings of the eighth International School-Seminar for Young Scientists and Specialists "Energoberezhenie – teoriya i praktika". Moscow: Publishing House MPEI 2016; 411 – 414. (In Russ.)
2. Zhiqiang L., Nan X., Sheng Y. Thermodynamic and parametric analysis of a coupled LiBr / H₂O absorption chiller / Kalina cycle for cascade utilization of low-grade waste heat. *Energy Conversion and Management* 2020; 205 (112370).
3. Peizhe C., Mengxiao Y., Zhiqiang L., Zhaoyou Zh., Sheng Y. Energy, exergy, and economic (3E) analyses and multi-objective optimization of a cascade absorption refrigeration system for low-grade waste heat recovery. *Energy Conversion and Management* 2019; 184: 249 – 261.
4. Sheng Y., Yu Q., Yifan W., Siyu Y. A novel cascade absorption heat transformer process using low grade waste heat and its application to coal to synthetic natural gas. *Applied Energy* 2017; 202: 42 – 52.
5. Khosrow E., Gerard F. J., Amy S. F. Thermo-economic analysis of steady state waste heat recovery in data centers using absorption refrigeration. *Applied Energy* 2015; 139: 384 – 397.
6. Prishchepova S. A., Sultanguzin I. A. Example of energy efficiency improving of the enterprise using AbCh in mining and metallurgical industry: *Radioelektronika, elektrotehnika i energetika*. Moscow: Publishing House MPEI 2016; 2: 356. (In Russ.)
7. Keppler D. Absorption chillers as a contribution to a climate-friendly refrigeration supply regime: Factors of influence on their further diffusion. *Journal of Cleaner Production* 2018; 172: 1535 – 1544.
8. Fedyukhin A. V., Sultanguzin I. A., Kurzanov S. Yu., Belov RB, Bakulin A. V., Shomova T. P. The use of applied software to solve the problems of industrial heat power: a training manual. Moscow: MEI Publishing House 2016; 88. (In Russ.)
9. THERMOFLEX. Fully Flexible Heat Balance Engineering Software. THERMOFLEX User's Manual. Thermoflow, Inc: 2013; 3: 1139.
10. Alimgazin A. Sh., Alimgazina S. G., Bakhtiyarov A. E. Analysis of the prospects for the use of heat pump technologies at metallurgical enterprises of the Republic of Kazakhstan. Proceedings of the VIII International Scientific and Practical Conference "Energoeffektivnye i resursosberegayushchie tekhnologii v promyshlennosti. 100 let otechestvennogo proektirovaniya metallurgicheskikh pechei " 2016; 238 – 250. (In Russ.)
11. Sultanguzin I. A., Shomova T. P., Shomov P. A., Dostovalov V. A. The use of heat pumps in gas processing plants. Abstracts and reports of the XV Minsk International Forum on Heat and Mass Transfer 2016; 3: 420 – 424. (In Russ.)
12. Alimgazin A. Sh., Alimgazina S. G. Prospects for the use of energy-saving heat pump technologies using alternative energy sources at the Aksu Ferroalloy Plant, a branch of Kazchrome TNK JSC. *Vestnik PGU im. S. Toraigyrova, seriya «Energetika»* 2019, (4): 35 – 38. (In Russ.)