

УДК 621.57

Оценка применения парокompрессионной установки на ТЭЦ-6–БЛПК

© И.В. Привалова, Т.В. Коваль

*Иркутский национальный исследовательский технический университет,
г. Иркутск, Российская Федерация*

Аннотация. Постоянный рост цен на топливно-энергетические ресурсы вынуждает искать пути более рационального их использования и совершенствования существующих схем энергоисточников. В работе предлагается применение теплонасосных установок на ТЭЦ-6 с целью повышения эффективности использования топливно-энергетических ресурсов. Представлены два варианта установки, по каждому из которых сопоставлены потоки сбросной низкопотенциальной теплоты водоочистных сооружений и систем оборотного водоснабжения с перспективными потребностями в теплоте. В первом случае рассматривалась установка теплонасосной станции на ТЭЦ-6. Капиталовложения в установку составили 70,8 млн руб./год, при этом срок окупаемости равен 0,92 года. Экономическая эффективность в этом случае составила 66,685 млн руб./год. Чтобы снизить капиталовложения и упростить теплонасосную установку, во втором варианте было предложено предварительно установить подогреватель водо-водяной трубный типа ПВВ. В этом случае капиталовложения в установку составили 42,826 млн руб./год, что значительно меньше капиталовложений первого варианта. Срок окупаемости составил 0,55 года. Экономическая эффективность в этом случае равна 70,875 млн руб./год. Было выявлено, что второй вариант по технико-экономическим показателям является более приемлемым. Кроме того, экологический эффект от применения теплонасосного оборудования на ТЭЦ-6 составит 633,3 тыс. руб./год.

Ключевые слова: энергетика, тепловая энергетика, теплонасосная станция, низкопотенциальный источник теплоты, тепловой насос

Evaluation of the Use of a Steam Compression Unit at the Thermal Power Plant 6 of the Bratsk Timber Industry Complex

© Irina V. Privalova, Tatiana V. Koval

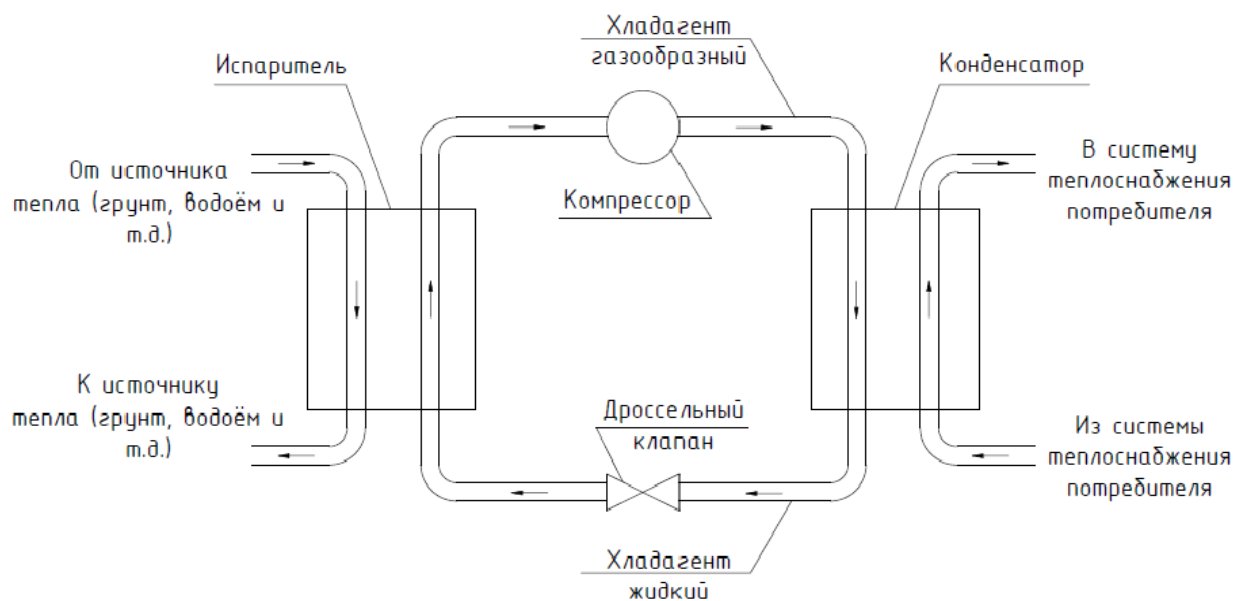
*Irkutsk National Research Technical University,
Irkutsk, Russian Federation*

Abstract. The constant rise in prices for fuel and energy resources forces us to look for ways of their more rational use and improvement of the existing schemes of energy sources. The article proposes the use of heat pump units at Thermal Power Plant (TPP)-6 in order to increase the efficiency of the use of fuel and energy resources. The article presents two variants of the installation, for each of which the flows of waste low-potential heat of water treatment plants and systems of circulating water supply are compared with prospective needs for heat. In the first case, the installation of a heat pump station at TPP-6 was considered. The investment in the installation amounted to 70.8 million rubles per year, with a payback period of 0.92 years. Economic efficiency in this case amounted to 66.685 million rubles per year. To reduce capital investments and simplify the heat pump installation, in the second variant it was proposed to pre-install a water-to-water tube heater. In this case, the investment in the installation amounted to 42.826 million rubles per year, which is much less than the investment of the first option. The payback period was 0.55 years. Economic efficiency in this case is equal to 70.875 million rubles per year. It was found that the second option is more acceptable in terms of technical and economic indicators. In addition, the environmental effect from the use of heat pump equipment at TPP-6 will amount to 633.3 thousand rubles per year.

Keywords: power engineering, heat power engineering, heat pump station, low-grade heat source, heat pump

Проблема экономии топливно-энергетических ресурсов в системе теплоснабжения в данное время остаётся одной из актуальных. Постоянный рост цен на топливно-энергетические ресурсы вынуждает искать пути более рационального их использования, совершенствовать схемы энергоисточников [1–7].

Эффект применения теплонасосных установок определяется наличием крупных источников низкопотенциальной теплоты. Принципиальная схема такой установки приведена на рисунке [4]. Авторами работ [8–10] приводятся результаты комплексного анализа тепловых насосов и их сопоставление с котельными системами.



Принципиальная схема теплового насоса

У тепловых насосов имеется ряд достоинств: небольшие эксплуатационные расходы (высокий коэффициент трансформации); отсутствие вредных выбросов в атмосферу; безопасность; возможность переключения с режима отопления зимой на режим кондиционирования летом; надёжность (автоматическое управление); отсутствие необходимости в специальном обслуживании; компактность; низкий уровень шума. Однако широкому внедрению тепловых насосов препятствуют следующие ограничения: высокие удельные капитальные вложения (достаточно дорогими являются как сами тепловые насосы, так и бурение скважин); ограничение по температуре на выходе из теплового насоса (55–70 °С); необходимость наличия повышенной площади поверхности отопительных приборов [11].

Одним из главных условий применения теплонасосных станций является наличие крупных источников низкопотенциальной теплоты. С этой позиции рассмотрено два варианта установки, по каждому из которых сопоставлены потоки сбросной низкопотенциальной теплоты водоочистных сооружений и систем оборотного водоснабжения с перспективными потребностями в теплоте.

В первом случае планировалось установить теплонасосную станцию на ТЭЦ-6. Низкопотенциальным источником теплоты могла бы служить вода, которая поступает с БЛПК для нужд энергетического хозяйства. В составе этой воды находятся химочищен-

ная вода, обессоленная так называемая речная и теплооборотная вода, которая в свою очередь нагревается уже на ТЭЦ. Также можно было использовать воды с охлаждения подшипников турбинных установок.

Среднемесячная тепловая мощность (кВт) этих потоков была определена по нижеприведенной формуле

$$Q = \frac{\sum_{i=1}^n D_i \cdot \rho_i \cdot c_i \cdot t_i}{3600 \cdot 24},$$

где i – нумерация дней; n – количество дней за расчётный месяц; D_i – расход воды за i -й день расчётного месяца, м^3 ; t_i – усреднённая температура теплоносителя за каждый i -й день расчётного месяца, °С; ρ_i – плотность теплоносителя, $\text{кг}/\text{м}^3$; c_i – теплоёмкость теплоносителя, $\text{кДж}/(\text{кг} \cdot \text{°С})$.

Во втором случае было обследовано предприятие БЛПК. В результате обследования промышленных стоков БЛПК выявлены тепловые потоки с расходом воды до 20000 $\text{м}^3/\text{ч}$ и температурой более 40 °С, которые сбрасываются в реку Вихоревку. По приблизительным расчётам суммарная тепловая мощность тепловых потоков, сбрасываемых в настоящее время в очистные сооружения, составляет 930 МВт, что значительно больше, чем общая мощность тепловых потоков на ТЭЦ-6, поэтому для анализа возможности применения тепловых насосов было выбрано БЛПК. Немаловажным фактором является и то, что на БЛПК

помимо очистных сооружений имеются и другие источники низкопотенциальной теплоты.

Для оценки перспектив возможности применения пароконденсационных тепловых насосов произведены два варианта расчётов установки для утилизации потока (расходом в 360 м³/час, мощностью 16,67 МВт с температурой 45 °С), который в настоящее время сбрасывается в очистные сооружения на целлюлозном заводе.

В первом варианте предусматривается установка 5 тепловых насосов НТ-3000. Для упрощения в теплонасосную установку во втором варианте предварительно устанавливается водо-водяной трубный подогреватель для систем теплоснабжения типа ПВВ.

После выбора рабочего режима устанавливаются параметры хладагента. Следует определить параметры всех точек цикла – как узловых, так и промежуточных, что позволит легко проконтролировать понимание протекающих процессов и правильность определения параметров, нужных для дальнейшего расчёта, для этого строится цикл холодильной машины в одной из термодинамических диаграмм состояния, как правило, в T-S диаграмме состояния.

Как в первом, так и во втором вариантах расчётов рассматриваются энергетический и эксергетический балансы компрессионных трансформаторов тепла, определяется объём компрессора, по которому подбирают один или несколько компрессоров соответствующего размера. Количество компрессоров должно быть согласовано с характером работы установки, со степенью неравномерности нагрузки: при постоянных нагрузках лучше иметь небольшое количество компрессоров большого размера, при переменных – несколько компрессоров меньшего размера, что позволяет получить более точное соответствие теплопроизводительности тепловой нагрузке.

Конденсаторы следует подбирать по действительному тепловому потоку, определённому при тепловом расчёте компрессоров. Тип конденсатора выбирают в зависимости от назначения установки, от условий водоснабжения и качества воды с учётом климатологических данных.

В большинстве случаев для крупных и средних установок, работающих на различных хладагентах, применяют конденсаторы с водяным охлаждением – горизонтальные кожухотрубные. Использовать та-

кие конденсаторы целесообразно при наличии оборотного водоснабжения.

Расчёт конденсатора сводится к определению площади теплопередающей поверхности, по которой подбирают один или несколько конденсаторов с суммарной площадью поверхности, равной расчётной.

Выбор рассольных испарителей определяется принятой системой охлаждения: при закрытой системе охлаждения принимают кожухотрубные испарители, при открытой – панельные.

Отделители жидкости включают в схему для защиты компрессоров от попадания в них жидкого хладагента и, следовательно, от гидравлического удара. В современных схемах отделители жидкости снабжены автоматическими приборами, выключающими компрессор при опасном изменении уровня жидкости в сосуде. В насосно-циркуляционных схемах при нормальной эксплуатации в сосуде не должно быть жидкости (вся жидкость, поступающая в сосуд, сливается в ресивер).

Подбирают отделители жидкости по диаметру всасывающего патрубка компрессора. На каждую температуру кипения подбирают отдельный сосуд, обслуживающий всю испарительную систему.

Жидкость отделяется от пара вследствие резкого изменения скорости и направления движения хладагента. Скорость пара в сосуде должна быть не более 0,5 м/с.

Отделитель жидкости представляет собой сварной вертикальный цилиндрический сосуд, имеющий патрубки и штуцера для присоединения жидкостной и паровой линий фреона, уравнительной линии, автоматических приборов и манометра.

Народнохозяйственная целесообразность применения теплонасосных установок определяется экономической эффективностью капитальных вложений в их сооружение. Поскольку теплонасосные станции предназначены для использования в качестве источников централизованного теплоснабжения наряду с ТЭЦ и районными котельными (причём замыкают баланс тепловой мощности котельные), то экономическую эффективность теплонасосных станций следует в первую очередь определять по сравнению с районными котельными.

Согласно принятой ещё в СССР методике технико-экономических расчётов, оптимальный вариант выбирается по минимуму приведённых затрат.

При установке тепловых насосов предприятие БЛПК отказывается от услуг ТЭЦ-6, которая до этого момента обеспечивала БЛПК горячей водой заданного потенциала.

Все расчёты однозначно показывают, что экономическая эффективность теплонасосных станций по сравнению с котельными увеличивается с ростом тепловой мощности. С ростом тепловой мощности значительно снижается постоянная составляющая приведённых затрат, включающая наряду с условно-постоянными издержками и отчисления на компенсацию капиталовложений $E_n \cdot K$. Снижение затрат на топливо и электроэнергию менее существенно.

Полученные технико-экономические показатели являются оценочными и подлежат дальнейшим уточнениям. Это обусловлено такими факторами, как:

- весьма ограниченная номенклатура тепловых насосов, выпускаемых отечественной промышленностью, отсутствие производства оборудования большой единичной мощности;

- экспериментальный характер эксплуатации первых немногочисленных теплонасосных установок, выпускаемых в России.

Выводы

В первом варианте при установке 5 тепловых насосов НТ–3000 расход нагреваемой воды составил 479,28 м³/ч.

Капиталовложения в установку равны 70,8 млн руб./год. Срок окупаемости – 0,92 года. Экономическая эффективность в этом случае составила 66,685 млн руб./год.

Чтобы снизить капиталовложения и упростить теплонасосную установку, во втором варианте предварительно был установлен подогреватель водо-водяной трубный предприятия «ЕЭС ЭНЕРГОСТРОЙ» для систем теплоснабжения типа ПВВ. Также вместо 5 ТНУ за счёт теплообменника достаточно было установки трёх тепловых насосов НТ–3000, расход нагреваемой воды составил 443,33 м³/ч. Капиталовложения в установку равны 42,826 млн руб./год, что значительно меньше капиталовложений первого варианта. Срок окупаемости составил 0,55 года. Экономическая эффективность в этом случае равна 70,875 млн руб./год.

Было выявлено, что второй вариант по технико-экономическим показателям является более приемлемым. Для этого варианта были рассчитаны и выбраны основные составляющие: конденсатор марки К-400; испаритель марки И-160; винтовой компрессорный агрегат АТ1100-4-1(0); отделитель жидкости типа 150 ОЖ; маслоотделитель МО-150; маслосборник 300 СМ.

Экологический эффект от применения теплонасосного оборудования составит 633,3 тыс. руб./год.

Библиографический список

1. Revised Release on the IAPWS Industrial Formulation 1997 for the Thermodynamic Properties of Water and Steam // The International Association for the Properties of Water and Steam (Lucerne, Switzerland; August 2007). P. 2–49. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.iapws.org/relguide/IF97-Rev.pdf> (09.12.2020).
2. Малышев А.А., Татаренко Ю.В., Киреев В.С. Эксергетический анализ теплонасосных установок для различных климатических условий // Вестник Международной академии холода. 2019. № 1. С. 22–28.
3. Бараненко А.В. Итоги работы МАХ в 2017–2018 годах // Вестник Международной академии холода. 2018. № 2. С. 4–12.
4. Земляков А.С. Применение тепловых насосов в системах теплоснабжения // Инновационная наука. 2015. № 12. С. 55–56.
5. Курнакова Н.Ю., Нурдин А.В., Волхонский А.А. О возможности повышения энергоэффективности тепловой схемы ТЭС с применением теплового насоса // Вестник ИрГТУ. 2018. Т. 22. № 7. С. 114–122.
6. Николаев Ю.Е., Бакшеев А.Ю. Определение эффективности тепловых насосов, использующих теплоту обратной сетевой воды ТЭЦ // Промышленная энергетика. 2007. № 9. С. 14–17.
7. Хакимуллин Б.Р., Багаутдинов И.З. Зарубежный опыт эксплуатации тепловых насосов // Инновационная наука. 2016. № 4. С. 194–195.
8. Накоряков В.Е., Елистратов С.Л. Экологические аспекты применения парокompрессионных тепловых насосов // Известия РАН. Энергетика. 2007. № 4. С. 76–83.
9. Елистратов С.Л. Оценка границ технико-экономической эффективности применения тепловых насосов // Вестник ЮУрГУ. Серия: Энергетика. 2009. № 15. С. 72–78.
10. Карпов Н.В., Шварц В.М., Елистратов С.Л., Бивалькевич А.И. Технико-экономическое обоснование применения тепловых насосов для теплоснабжения водохозяй-

ственных объектов // Водоснабжение и санитарная техника. 2009. № 3. С. 59–63.

11. Гарипов М.Г., Гарипов В.М. Использование низкопотенциального тепла земли с помощью теплового насоса // Вестник Казанского

технологического университета. 2014. Т. 17. № 14. С. 197–198. [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-nizkopotentsialnogo-tepla-zemli-s-pomoschyu-teplovogo-nasosa/viewer> (09.12.2020).

Сведения об авторах / Information about the Authors

Привалова Ирина Валерьевна,
магистрант группы ЭСТм-19-1,
Институт энергетики,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россий-
ская Федерация,
e-mail: privalova@ie.istu.edu

Irina V. Privalova,
Postgraduate,
Institute of Energy,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov Str., Irkutsk, 664074, Russian Federa-
tion,
e-mail: privalova@ie.istu.edu

Коваль Татьяна Валерьевна,
кандидат технических наук,
доцент кафедры теплоэнергетики,
Институт энергетики,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россий-
ская Федерация,
e-mail: kovaltv@istu.irk.ru

Tatiana V. Koval,
Cand. Sci. (Technics),
Associate Professor of Heat and Power Engineering
Department,
Institute of Energy,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov Str., Irkutsk, 664074, Russian Federa-
tion,
e-mail: kovaltv@istu.irk.ru