

Оценка применения парокомпрессионной установки на Усть-Илимской ГЭС

© Н.В. Мясникова, А.Н. Кудряшов

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

Аннотация. Основной целью работы является анализ условий повышения энергоэффективности, снижения затрат на электроэнергию для собственных нужд Усть-Илимской ГЭС и улучшения технико-экономических показателей филиала путём использования теплового насоса для утилизации низкопотенциальной теплоты. На основании зависимости температуры теплоносителя в системе отопления от температуры наружного воздуха определялись режимы работы теплового насоса. Затраты электроэнергии на систему отопления с помощью установленных электродкотлов составили 1278240 кВт·ч/год. Затраты электроэнергии на систему отопления с помощью ТНУ составили 446068 кВт·ч/год. Предварительный расчёт эффективности замены электрообогрева на обогрев с помощью ТНУ показывает, что расход электроэнергии снизится в 3 раза. При расчёте эффективности проекта установки парокомпрессионного теплового насоса в цикле Усть-Илимской ГЭС в системе отопления вместо работающих электрических котлов определено, что чистая приведённая стоимость проекта составит 2 578 000 рублей при сроке окупаемости около 7 лет.

Ключевые слова: энергетика, энергоэффективность, низкопотенциальная теплота, источник тепла, тепловой насос

Evaluation of Application of Steam Compression Unit at the Ust-Ilimsk Hydroelectric Power Station

© Natalia V. Myasnikova, Alexander N. Kudryashov

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

Abstract. The main purpose of the work is to analyze the conditions for improving energy efficiency, reducing electricity costs for the own needs of the Ust-Ilim hydroelectric power plant and improving the technical and economic performance of the branch by using a heat pump to dispose of low-potential heat. Based on the dependence of the temperature of the coolant in the heating system on the outside air temperature, the operating modes of the heat pump were determined. Electricity consumption for the heating system using the installed electric boilers amounted to 1278240 kWh/year. Electricity consumption for the heating system using the heat pump unit (HPU) amounted to 446,068 kWh/year. A preliminary calculation of the efficiency of replacing electric heating with heating using HPU shows that electricity consumption will decrease by 3 times. When calculating the effectiveness of the project of installing a steam compression heat pump in the cycle of Ust-Ilim hydroelectric power plant in the heating system instead of working electric boilers, it is determined that the net resulting cost of the project will be 2,578,000 rubles with a payback period of about 7 years.

Keywords: energy, energy efficiency, low-grade heat, heat source, heat pump

Одним из эффективных мероприятий по экономии топлива и по защите окружающей среды является широкое использование теплонасосных установок (ТНУ), преобразующих природную низкопотенциальную теплоту и тепловые отходы в теплоту более высокой температуры, пригодную в частности для теплоснабжения. На теплоснабжение жилых, общественных и промышленных зданий в России в настоящее время расходуется больше топлива, чем необходимо для производства электроэнергии. Отсюда

вытекает значимость экономии топлива в сфере теплоснабжения.

За рубежом более 30 лет широко применяется теплонасосная техника для теплоснабжения офисных и жилых зданий. В 2009 году в мире количество тепловых насосов, использующих тепло грунта, превысило 2,8 млн шт., их суммарная тепловая мощность составила 35 ГВт. Лидерами по установке тепловых насосов данного типа стали США и Швеция, большое их количество эксплуатируется в Японии, Германии,

Швейцарии. В России тепловые насосы пока применяются недостаточно широко [1].

В табл. 1 представлены данные по использованию тепловых насосов в различных странах [2].

Таблица 1. Мировой уровень использования низкопотенциальной тепловой энергии земли посредством тепловых насосов

Страна	Установленная мощность оборудования, МВт	Произведённая энергия, ТДж/г
Австралия	24,0	57,6
Австрия	228,0	1094,0
Болгария	13,3	162,0
Великобритания	0,6	2,7
Венгрия	3,8	20,2
Германия	344,0	1149,0
Греция	0,4	3,1
Дания	3,0	20,8
Исландия	4,0	20,0
Италия	1,2	6,4
Канада	360,0	891,0
Литва	21,0	598,8
Нидерланды	10,8	57,4
Норвегия	6,0	31,9
Польша	26,2	108,3
Россия	1,2	11,5
Сербия	6,0	40,0
Словакия	1,4	12,1
Словения	2,6	46,8
США	4 800,0	12 000,0
Турция	0,5	4,0
Финляндия	80,5	484,0
Франция	48,0	255,0
Чехия	8,0	38,2
Япония	3,9	64,0
Всего	6 675,4	23 268,9

Тепловые насосы имеют 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. Для широкого внедрения тепловых насосов имеются следующие ограничения: высокие удельные капитальные вложения (достаточно дороги 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 и др. [1].

Следует отметить, что в мировой практике подавляющее большинство тепловых насосов является парокомпрессионными, они различаются между собой по термодинамическим циклам: Стирлинга, Ренкина, Брайтона и др., а также по типу входящих в их состав компрессоров, например, поршневые, винтовые и турбокомпрессионные. Далее различие может быть и по степени герметичности – герметичные, сальниковые и бессальниковые. Источник [3] приводит данные тепловых насосов, выпускаемых отечественными производителями серийно либо по отдельным заказам. В работах [1–7] отмечена актуальность применения тепловых насосов в различных направлениях. Авторами работ [8–10] приводятся результаты комплексного анализа тепловых насосов и их сопоставление с котельными системами.

Главная цель работы заключается в повышении энергоэффективности и снижении затрат на электроэнергию для собственных нужд Усть-Илимской ГЭС, а также в улучшении технико-экономических показателей филиала на основе использования теплового насоса для утилизации низкопотенциальной теплоты.

В настоящее время отопление и ГВС административно-промышленного корпуса (АПК) Усть-Илимской ГЭС осуществляется от шести электродкотлов КЭВ-160. Тепловая нагрузка находится в диапазоне от 0,055 Гкал/ч (июль, август) до 0,388 Гкал/ч (январь, декабрь). Электроснабжение электродкотельной происходит от общестанционных собственных нужд (СН) Усть-Илимской ГЭС. Вместе с тем технологический процесс выработки и преобразования электроэнергии сопровождается значительными потерями низкопотенциальной тепловой энергии, которые превосходят потребности станции в тепле. Используемая для охлаждения

блочных трансформаторов вода бесполезно сбрасывается в реку Ангара. Для снижения затрат на электроэнергию на собственные нужды Усть-Илимской ГЭС и для улучшения технико-экономических показателей объекта целесообразно рассмотреть применение теплового насоса, который утилизирует низкопотенциальную теплоту воды, нагретой в системе охлаждения блочного трансформатора. Это позволит снизить потребление электроэнергии на собственные нужды. При этом электрокалорифер и электродкотлы будут работать в «пиковом» режиме (на случай недостаточной мощности ТНУ), а также в периоды ремонта ТНУ. На момент отключения отопления (июнь-август) тепловой насос планируется использовать для нагрева холодной воды, поступающей в систему ГВС.

Определим активные потери в трансформаторе ТЦ630000/220 при перетоке 240 МВА и номинальном напряжении сети по следующей формуле

$$P_T = P_{ХХ} + P_{кз} \left(\frac{S_{Тр}}{S_{НОМ}} \right)^2 = 380 + 1300 \left(\frac{240}{630} \right)^2 = 598,66 \text{ кВт.}$$

Где $P_{ХХ}$ – потери холостого хода, кВт; $P_{кз}$ – потери короткого замыкания, кВт; $S_{Тр}$ – нагрузка трансформатора, МВА; $S_{НОМ}$ – но-

минальная мощность трансформатора, МВА.

Мощность теплообмена через маслоохладитель:

$$P_{МО} = 0,7P_T = 0,7 \cdot 598,66 = 398,1 \text{ кВт.}$$

По результатам измерения температуры воды на входе в маслоохладитель $T_1 = 7^\circ\text{C}$ и выходе $T_2 = 20^\circ\text{C}$ с учётом мини-

мальной мощности теплообмена $P_{МО} = 398,1 \text{ кВт}$ (при перетоке 240 МВА) минимальный расход воды составит

$$V = \frac{P_{МО}}{c(T_2 - T_1)} = \frac{398,1 \cdot 10^3}{4,18 \cdot 10^6 (20 - 7)} = 26,37 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

При коэффициенте преобразования $\phi = 4,0$ и тепловой производительности

$Q_{\max} = P_{МО} = 400 \text{ кВт}$ потребление электроэнергии $P_{ТНЭЛ}$ тепловым насосом составит

$$P_{ТНЭЛ} = \frac{Q_{\max}}{\phi} = \frac{400}{4} = 100 \text{ кВт.}$$

На основании зависимости температуры теплоносителя в системе отопления (ОС) от температуры наружного воздуха устанавливаются режимы работы теплового насоса. С использованием статистических данных о среднесуточных температурах воздуха в г. Усть-Илимске определяется ожидаемая продолжительность режимов. Посредством установки средней мощности потребления ОС для каждого режима опре-

деляется потребление электроэнергии электродкотлами и тепловым насосом. Полученные данные сведены в табл. 2.

Затраты электроэнергии на систему отопления с помощью установленных электродкотлов составляют 1278240 кВт·ч/год.

Затраты электроэнергии на систему отопления с помощью ТНУ составят 446068 кВт·ч/год.

Предварительный расчёт эффективности замены электрообогрева на обогрев с по-мощью ТНУ показывает, что расход электроэнергии снизится в 3 раза.

Выбираем тепловой насос мощностью 422 кВт марки ПНТ-НЛР-4223-73. Производитель – ООО «Производственная компания Хитлайн».

Таблица 2. Расчёт показателей работы существующей системы отопления на электродотлах и с помощью теплового насоса мощностью 400 кВт

Т _{нв} , °С	Т _{ос} , °С	Т _к -Т _{исп}	t режима, ч	Р _{эл} , кВт	W _{эл} , кВт·ч	Параметры режима работы теплового насоса		
						φ	Р _{эл.ТН} , кВт	W _{эл.ТН} , кВт·ч
+10 ÷ -10	50	50	2760	160	441600	3,7	43,24	119342
-11 ÷ -20	60	60	1920	200	384000	3,0	66,67	128006
-21 ÷ -30	70	70	1104	250	276000	2,5	100,00	110400
-31 ÷ -40	85	85	552	320	176640	2,0	160,00	88320

Подача первичного теплоносителя осуществляется из магистрали возврата системы охлаждения трансформаторов. Точки подключения – выше и ниже существующей задвижки.

Точки подключения в систему охлаждения – возвратная магистраль существующей системы отопления между возвратным коллектором и насосным узлом.

От подающего трубопровода ТНУ предусмотрен отвод и возврат к системе ГВС.

Циркуляционный насос первичного контура с фазо-частотным управлением. Циркуляционный насос отопительного контура постоянной производительности.

Предполагается регулирование потока и давления в контуре первичного теплоносителя.

Логика управления работой ТНУ при работе «на отопление». Расчёт необходимой температуры подачи теплоносителя в систему отопления производится погодозависимой автоматикой ТНУ на основании данных с внешнего температурного датчика. Текущая температура подачи сравнивается с расчётной (температурной кривой), заданной аппаратно. В целях снижения количества пусков компрессоров в алгоритм работы автоматики введены инерционные поправки. В зависимости от потребностей параметры кривой отопления допускают коррекцию.

По умолчанию работа ТНУ «на отопление» продолжается до достижения внешней температуры воздуха заданного весеннего максимума, после чего установка автоматически останавливается. Включение ТНУ «на отопление» происходит автоматически при достижении заданного минимума осенних температур.

Логика управления работой ТНУ «на ГВС». При работе «на ГВС» ТНУ работает до достижения заданной температуры ГВС в буферном баке. Данные установленного на буферном баке температурного датчика сравниваются автоматикой ТНУ с температурой подающего трубопровода. По достижении заданной температуры ТНУ останавливается до понижения температуры в буферном баке (показания температурного датчика) до заданного минимума, после чего цикл повторяется.

Переключение между режимами «ГВС» и «отопление» на данной модификации предусмотрено в ручном режиме – открытием и закрытием соответствующих задвижек.

При расчёте эффективности проекта установки парокомпрессионного теплового насоса в цикле Усть-Илимской ГЭС в системе отопления вместо работающих электрических котлов получены следующие данные: NPV проекта - 2 578 000 руб.; IRR – 20 %; срок окупаемости – 6,72 лет.

Библиографический список

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

гического университета. 2014. Т. 17. № 14. С. 197–198. [Электронный ресурс]. URL: [https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-](https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie)

nizkopotentsialnogo-tepla-zemli-s-pomoschyu-teplovogo-nasosa/viewer (09.01.2021).

2. Токменинов К.А., Широченко В.А. Перспективы и эффективность использования тепловых насосов // Вестник Белорусско-Российского университета. 2010. № 2 (27). С. 93–100.

3. Лунева С.К., Чистович А.С., Эмиров И.Х. К вопросу применения тепловых насосов // Техно-технологические проблемы сервиса. 2013. № 4 (26). С. 45–52.

4. Малышев А.А., Татаренко Ю.В., Кирев В.С. Эксергетический анализ теплонасосных установок для различных климатических условий // Вестник Международной академии холода. 2019. № 1. С. 22–28.

5. Бараненко А.В. Итоги работы МАХ в 2017–2018 годах // Вестник Международной академии холода. 2018. № 2. С. 4–12.

6. Земляков А.С. Применение тепловых насосов в системах теплоснабжения // Инновационная наука. 2015. № 12. С. 55–56.

7. Курнакова Н.Ю., Нуждин 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.

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. Техно-экономическое обоснование применения тепловых насосов для теплоснабжения водохозяйственных объектов // Водоснабжение и санитарная техника. 2009. № 3. С. 59–63.

Сведения об авторах / Information about the Authors

Мясникова Наталья Викторовна,
магистрант группы ЭСТм-19-1,
Институт энергетики,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россий-
ская Федерация,
e-mail: naia13@mail.ru

Natalia V. Myasnikova,
Postgraduate,
Institute of Energy,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov Str., Irkutsk, 664074, Russian Federa-
tion,
e-mail: naia13@mail.ru

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

Alexander N. Kudryashov,
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: kan@istu.irk.ru