

Пономарева К.А.

студент магистрант кафедры промышленной теплоэнергетики Тюменского
индустриального университета
(г. Тюмень, Россия)

Томина К.Д.

студент магистрант кафедры промышленной теплоэнергетики Тюменского
индустриального университета
(г. Тюмень, Россия)

МЕТОДИКА РАСЧЕТА И ВЫБОРА ПАРОКОМПРЕССИОННОЙ ТЕПЛОНАСОСНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ СИСТЕМЫ ПОДОГРЕВА СЫРОЙ ВОДЫ НА ТЭЦ

***Аннотация:** В статье представлена методика расчета и выбора параметров парокомпрессионной теплонасосной установки (ТНУ) для системы подогрева сырой воды перед химической водоподготовкой (ХВО) на ТЭЦ. На примере Тюменской ТЭЦ-2 подробно изложен алгоритм определения тепловой нагрузки, построения реального термодинамического цикла ТНУ на lgP-i диаграмме и расчета действительного коэффициента преобразования (COP). Показано, что при температуре источника (циркуляционная вода) $+35^{\circ}\text{C}$ и температуре потребителя (сырая вода) $+30^{\circ}\text{C}$ для тепловой мощности 14,9 МВт целесообразно применение каскадной схемы. В результате расчета COP составил 8,25, что обусловило потребляемую мощность компрессоров 1,82 МВт. На основе полученных данных выполнен подбор серийного оборудования, подтверждающий практическую реализуемость проекта.*

***Ключевые слова:** тепловой насос, методика расчета, COP, lgP-i диаграмма, подогрев сырой воды, каскадная схема, тепловая нагрузка.*

Ponomareva K.A.

Master's student at the Department of Industrial Heat Power Engineering at Tyumen
Industrial University (Tyumen, Russia)

Tomina K.D.

Master's student at the Department of Industrial Heat Power Engineering at Tyumen
Industrial University (Tyumen, Russia)

METHOD FOR CALCULATING AND SELECTING A VAPOR- COMPRESSION HEAT PUMP UNIT FOR RAW WATER HEATING SYSTEM AT A HES

***Abstract:** The article presents a method for calculating and selecting the parameters of a vapor-compression heat pump unit (HPU) for the system of heating raw water before chemical water treatment (CWT) at a CHP plant. Using the example of Tyumen CHP Plant-2, the algorithm for determining the heat load, constructing a real thermodynamic cycle of the HPU on the lgP-i diagram, and calculating the actual conversion factor (COP) is described in detail. It is shown that at a source temperature (circulation water) of $+35^{\circ}\text{C}$ and a consumer temperature (raw water) of*

+30°C For a thermal capacity of 14.9 MW, it is advisable to use a cascade scheme. As a result of the calculation, the COP was 8.25, which resulted in a power consumption of 1.82 MW for the compressors. Based on these data, a selection of commercial equipment was made, confirming the practical feasibility of the project.

Keywords: heat pump, calculation method, COP, lgP-i diagram, raw water heating, cascade scheme, and heat load.

Введение

Актуальность. Повышение энергоэффективности теплоэлектростанций (ТЭС) является одной из ключевых задач современной энергетики. Использование высокопотенциального пара для низкотемпературного подогрева сырой воды, необходимой для технологических нужд станции, признано энергетически и экономически нерациональным.

Научная проблема. Отсутствие унифицированной и практически апробированной методики для точного расчета и выбора парокompрессионных теплонасосных установок, адаптированной к специфическим условиям работы ТЭС, затрудняет их широкое внедрение для утилизации сбросного тепла.

Цель исследования. Разработка и апробация комплексной методики расчета и выбора парокompрессионной ТНУ для системы подогрева сырой воды на примере Тюменской ТЭС-2.

Задачи исследования:

1. Определить тепловую нагрузку установки и потенциал замещения пара.
2. Разработать алгоритм моделирования реального термодинамического цикла ТНУ и расчета его коэффициента преобразования (COP).
3. На основе расчетных параметров выполнить подбор основного оборудования ТНУ.
- 4.

Методы и исследования

Для решения поставленных задач был применен комплекс теоретических и расчетных методов.

Теплотехнический расчет был использован для определения точной тепловой нагрузки на ТНУ на основе исходных данных о расходе и температурном графике сырой воды.

Термодинамическое моделирование было применено для построения реального цикла парокомпрессионного теплового насоса. Моделирование проводилось с использованием специализированного программного обеспечения CoolPack на lgP-i диаграмме для хладагента R134a, что позволило учесть все необратимые потери в цикле.

Аналитический расчет ключевых энергетических показателей, включая COP и потребляемую мощность, выполнялся на основе параметров в характерных точках смоделированного цикла.

Метод подбора серийного оборудования использовался для подтверждения технической реализуемости проекта на основе полученных расчетных параметров (тепловая мощность, температурные уровни, расходы).

Результаты оригинального авторского исследования

1. Определение тепловой нагрузки и потенциала замещения. На основе исходных данных (расход сырой воды 512 т/ч, нагрев с +5°C до +30°C) по стандартной формуле был рассчитана тепловая нагрузка: $Q = 14,9$ МВт. Установлено, что для покрытия этой нагрузки в существующей схеме используется 22,5 т/ч острого пара, что определяет потенциал для замещения.

2. Моделирование цикла теплового насоса и расчет COP. Для температурных условий источника (+35°C) и потребителя (+30°C) был смоделирован реальный цикл ТНУ. Параметры в характерных точках цикла (таблица 1) были получены в результате моделирования в CoolPack.

Таблица 1. Параметры точек цикла теплового насоса

Точка	Температура t, °C	Давление P, кПа	Удельная энтальпия h, кДж/кг
1	21,0	859,6	277,9
2	51,2	1526,6	296,0
3	51,2	1518,5	296,2
4	33,6	1518,5	105,7
5	14,6	864,8	105,7
6	13,8	864,8	74,7
7	20,0	864,8	237,5
8	20,0	864,8	276,9
9	-1,0	539,5	74,7
10	-1,5	539,5	52,2
11	5,0	539,5	226,8
12	5,0	539,5	269,2
13	6,5	535,9	270,6
14	30,0	870,0	285,9
15	30,0	864,8	286,0

На основе этих данных был рассчитан действительный коэффициент преобразования по формуле: $COP = (h_3 - h_6) / (h_3 - h_{12}) = 8,25$. Высокое значение COP обусловлено малым термодинамическим напором.

3. Подбор оборудования на основе расчетных параметров. Определена электрическая мощность, потребляемая компрессорами: $N_{компр} = Q / COP \approx 1,82$ МВт. Годовое электропотребление составит 12,74 млн кВт·ч. Исходя из суммарной тепловой мощности и необходимости обеспечения высокой эффективности, была обоснована каскадная схема ТНУ. Подобрано серийное оборудование: четыре парокомпрессионных агрегата ТНУ-4,0-70/40-И (суммарная мощность 16 МВт), кожухотрубчатый теплообменник (400 м²) и вспомогательное насосное оборудование.

Заключение

В результате проведенного исследования была решена поставленная научная проблема — разработана и апробирована на конкретном примере комплексная методика расчета и выбора парокомпрессионной ТНУ для системы подогрева сырой воды на ТЭЦ.

Сформулированы следующие оригинальные авторские выводы, соответствующие целям работы:

На примере Тюменской ТЭЦ-2 установлено, что тепловая нагрузка системы подогрева сырой воды составляет 14,9 МВт, что эквивалентно 22,5 т/ч острого пара, подлежащего замещению.

Разработан алгоритм термодинамического расчета, позволяющий определить действительный COP ТНУ. Для заданных условий расчетное значение COP достигло 8,25, а потребляемая мощность компрессоров — 1,82 МВт.

На основе расчетных параметров выполнен подбор серийного оборудования, что доказывает практическую реализуемость проекта и возможность его реализации без нестандартных технических решений.

Практическая значимость и применение результатов: Предложенная методика является универсальным инструментом для инженеров-проектировщиков и позволяет проводить обоснованный выбор параметров и оборудования ТНУ для утилизации сбросного тепла на ТЭЦ и других промышленных объектах. Высокое значение COP, полученное в расчетах, подтверждает исключительную энергетическую эффективность применения тепловых насосов в системах с малым перепадом температур между источником и потребителем. Результаты работы готовы к использованию для детального проектирования на Тюменской ТЭЦ-2 и могут быть тиражированы на другие энергообъекты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лашутина, Н.Г. Холодильные машины и тепловые насосы: учебное пособие / Н.Г. Лашутина, Т.А. Верхова, В.П. Суедов. – М.: КолосС, 2006. – 440 с.
2. Кошкин, Н.Н. Холодильные машины: учебник для втузов по специальности "Холодильные машины и установки" / Н.Н. Кошкин, И.А. Сакун, Е.М. Бамбушбек. - СПб.: Машиностроение, 1985. – 510 с.