

Хакимова Аделия Ильдаровна, студент,
Самарский государственный технический университет,
г. Самара

Карнаух Виктория Викторовна, профессор, д.т.н., доцент
Самарский государственный технический университет,
г. Самара

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РАБОТЫ ПАРОКОМПРЕССИОННЫХ ТЕПЛОНОСНЫХ УСТАНОВОК В ЦИКЛЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ТЭС

Аннотация: В статье рассматриваются задачи реализации энергетической стратегии России до 2050 года. Особое внимание уделяется сокращению вредных выбросов тепловых электрических станций путем использования парокомпрессионной теплонасосной установки в цикле технологического водоснабжения на примере Самарской ТЭЦ.

Ключевые слова: тепловые электрические станции (ТЭС), парниковые выбросы, обратное водоснабжение, горячее водоснабжение, парокомпрессионная теплонасосная установка, хладагент.

Одним из ключевых аспектов энергетической стратегии Российской Федерации до 2050 года является переход к применению экологически чистых источников энергии, что демонстрируют планы по развитию возобновляемых источников энергии и снижению зависимости от углеводородов. В числе задач теплоснабжения стоит распространение лучших практик использования альтернативных источников теплоснабжения, в том числе геотермальных источников тепловой энергии, использование систем рекуперации воздуха, низкопотенциального тепла [1].

Большая часть мировой электрической энергии вырабатывается на тепловых электрических станциях (ТЭС). По этой причине вредные выбросы в атмосферу предприятия такого типа составляют около четверти доли всех вредных выбросов, поступающих в атмосферу от промышленных предприятий.

Существует несколько основных путей поступления тепловой энергии и парниковых газов в геосферу (рис.2), имеющие равное отрицательное значение

1. Прямой выброс теплоты от сгорания топлив в существующих технологиях производства и потребления энергии;
2. Водяной пар, образующийся за счет охлаждения воды в градирнях и при сжигании углеводородного топлива;
3. Углекислый газ, образующийся в процессе сжигания углеводородных топлив [2].

Анализ научных работ по изучению проблемы сокращения парниковых выбросов на тепловых электрических станциях свидетельствует о том, что основной идеей является разработка и внедрение мероприятий, направленных на экономию потребляемого топлива, воды, и как следствие защиту окружающей среды от тепловых выбросов.

В работе на примере Самарской ТЭЦ рассматривается возможность внедрения теплонасосной установки в систему обратного водоснабжения для обеспечения нагрузки на горячее водоснабжение для вновь построенного административного здания (рис. 1). Цель работы заключается в определении целесообразности параллельного подключения парокомпрессионной теплонасосной установки для обеспечения нужд горячего водоснабжения административного здания.



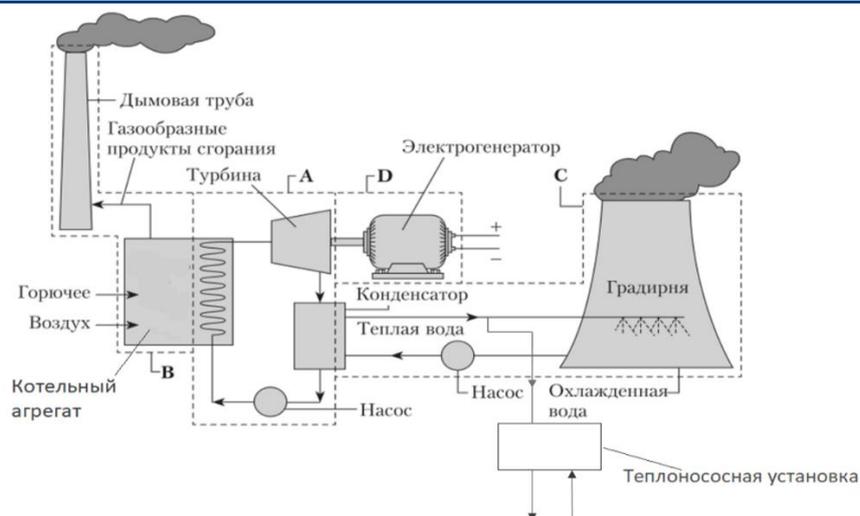


Рис.1 Предлагаемая схема оборотного водоснабжения ТЭЦ

Оценивая потенциал охлаждающей воды на выходе из конденсатора (36°C), предлагается рассмотреть вариант установки парокомпрессионной теплонасосной установки для обеспечения горячим водоснабжением, вновь построенного на территории ТЭС административного здания. Благодаря данной установке низкопотенциальную теплоту охлаждающей воды можно трансформировать, увеличив ее температуру до $60\text{-}70^{\circ}\text{C}$, сделав ее полезной для использования [3].

Рассмотрим наиболее удовлетворяющие этим требованиям хладагенты R134a, R410a и R1234ze.

При проведении термодинамического расчета были приняты следующие исходные данные:

- тип теплового насоса: ПТНУ «вода-вода»;
- тип цикла: с внутренней регенерацией;
- источник низкопотенциальной теплоты: обратная вода предприятия, $t_n=36^{\circ}\text{C}$;
- назначение: горячее водоснабжение административного здания $t_{вномп}=65^{\circ}\text{C}$;
- тепловая нагрузка на конденсатор $Q_{кд}=245\text{ кВт}$;

Парокомпрессионная установка типа «вода-вода», состоит из четырех основных элементов (рис. 5). Для предотвращения гидравлического удара и «горячего» дросселирования в цикле предусмотрена внутренняя регенерация теплоты в регенеративном теплообменнике (РТО).

Для эффективной обработки данных, термодинамические расчеты выполнялись с помощью программного обеспечения Microsoft Excel. Значения основных параметров теоретического цикла, характеризующих работу парокомпрессионной теплонасосной установки на хладагентах R134a, R410a, R1234ze приведены в таблице 1.

Таблица 1

Основные параметры теоретического цикла

Хладагент Показатель	R134a	R1234ze	R410a
Удельная тепловая нагрузка испарителя, кДж/кг	132,85	125	100
Удельная теоретическая (адиабатная) мощность компрессора – удельная внутренняя работа компрессора, кДж/кг	27,04	20	36,5



Энтальпия х.а. на выходе из компрессора, кДж/кг	459,6619	433,2558	479,9419
Удельная внутренняя работа компрессора, кДж/кг (теоретический)	27,04	20	36,5
Удельная работа компрессора с учетом электромеханического КПД, кДж/кг	33,8	25	45,625
Удельная тепловая нагрузка конденсатора (теоретическая), кДж/кг	132,47	134	81,25
Удельная теплота, затраченная на перегрев паров х.а. в РТО, кДж/кг	19,82	10	18,75
Правильность теоретического расчета определяется проверкой теплового баланса по первому закону термодинамике (теоретическая)	159,89	145	136,5
Количество циркулирующего холодильного агента, кг/с	1,532591	1,75	1,644295
Объемная производительность компрессора, м ³ /с	0,214563	0,245	0,230201
Теоретическая (адиабатная) мощность компрессора, кВт	5,801777	4,9	8,402349
Электрическая мощность компрессора, кДж/кг (теоретический)	51,80158	43,75	75,02097
Среднелогарифмический температурный напор низкопотенциального источника	12,76586	12,76586	12,76586
Среднелогарифмический температурный напор высокопотенциального источника	10,82021	10,82021	10,82021
После компрессора х.а. находится в состоянии перегретого пара, температура которого на 5...25°C выше температуры конденсации (теоретический)	283,9909	283,8202	283,8202
Степень повышения давления в компрессоре	3,290033	3,522727	2,8
Теоретический коэффициент преобразования теплоты	4,899038	6,7	2,226027
Коэффициент преобразования обратного идеального цикла Карно	7,511111	7,511111	7,511111
Теоретическая степень термодинамического совершенства	0,652239	0,892012	0,296365

По результатам расчетов, с учетом требуемой теплопроизводительности и условий эксплуатации предлагается принять парокompрессионные теплонасосные установки серии Olion ChillHeat P, количество и технические характеристики которых приведены в таблице 2.

Таблица 2

Характеристика полупромышленных тепловых насосов серии Olion ChillHeat P.

Параметр	P60	P100
Тепловая мощность, кВт	60,0	100,0
Количество, шт	1	2



Компрессор, тип и количество	Поршневой, 2	Поршневой, 2
Кол-во контуров хладагента	1	1
Хладагент	R134a, R513A, R450A, R1234ze	
Габаритные размеры установки, Д×Ш×В	1571×911×2091	1571×911×2091
Масса, кг	1000	1200

В целях подтверждения целесообразности применения парокompрессионной теплонасосной установки в цикле водоснабжения ТЭС, определяем экономичное топливо. По результатам расчета, топливо которое было бы использовано в рамках теплогенерирующей установки для выработки соответствующего количества теплоты, которое составляет:

$$V_{\text{т}} = 253,26 \cdot 10^3 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Предлагаемое решение в первую очередь имеет экологическую составляющую, поскольку сокращение потребления топлива (природного газа в нашем случае) ведет к сокращению выбросов парниковых газов, что вносит значительный вклад в улучшение экологической обстановки в стране и в мире в целом.

Список литературы:

1. Распоряжение Правительства РФ от 12.04.2025 г. № 908-р «Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2050 года».
2. Щеклеин С.Е. К проблеме эмиссии парниковых газов объектами электроэнергетики / С.Е. Щеклеин, А.М. Дубинин // Международный научно-исследовательский журнал. – 2024. – №11 (149).
3. Ефимов Николай Николаевич, Папин Владимир Владимирович, Малышев Павел Александрович, Безуглов Роман Владимирович Анализ использования тепловых насосов на тепловых и атомных электростанциях // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки. 2010. №4.

