



ВЫБОР ВОЗДУШНЫХ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ ДЛЯ СИСТЕМ АВТОНОМНОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Д.Е. Уразбаев, студент,
e-mail: rainger61@gmail.com
ФГБОУ ВО «Калининградский государственный
технический университет»



Е.А. Беркова, инженер,
e-mail: elena.berkova@klgtu.ru
ФГБОУ ВО «Калининградский государственный
технический университет»

В данной работе выполнен обзор и сравнение воздушных тепловых насосов разных производителей для системы теплоснабжения с заданной тепловой нагрузкой. Представлены результаты проведенного технико-экономического анализа вариантов организации системы автономного теплоснабжения на базе воздушных тепловых насосов в сравнении с дизельным котлом. Приведена тепловая схема системы теплоснабжения с двумя воздушными тепловыми насосами.

Ключевые слова: тепловой насос, теплонасосная установка, система автономного теплоснабжения, низкопотенциальная тепловая энергия

ВВЕДЕНИЕ

Одним из приоритетных направлений «в комплексе ключевых мер, обеспечивающих решение задач теплоснабжения», которое обозначено в Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2035 г., является «распространение лучших практик использования альтернативных источников теплоснабжения», а также «переход к экологически чистой и ресурсосберегающей энергетике, рациональное природопользование и энергетическая эффективность» [1].

Можно утверждать, что использование тепловых насосов (ТН) для теплоснабжения автономных объектов является одним из вариантов реконструкции котельных, работающих на твердом или жидком топливе, который соответствует приоритетам национальной политики в энергетическом секторе, являясь экологически чистым и энергетически эффективным способом выработки тепловой энергии.

ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве объекта исследования была выбрана система автономного теплоснабжения производственно-технического отдела эксплуатационного вагонного депо, расположенного в г. Черняховске Калининградской области. Теплофикационная нагрузка включает отопление и горячее водоснабжение (ГВС) объекта и в настоящее время обеспечивается жидкотопливным котлом Riello 3300 с дизельной горелкой мощностью 40 кВт.

ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью данного исследования является обоснование выбора воздушных тепловых насосов для теплоснабжения автономных объектов с заданной тепловой нагрузкой.

Основные задачи исследования заключаются в том, чтобы оценить тепловую нагрузку автономного объекта с учетом климатологической информации и нормативных расчетных характеристик; выбрать режим работы теплонасосной установки, основное оборудование, разработать тепловую схему; определить потребление электроэнергии тепловыми насосами; выполнить оценку годовых затрат на выработку тепловой энергии, сравнить полученные результаты с работой теплогенератора на дизельном топливе.

ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

Тепловой насос – это устройство для производства тепла с использованием обратного термодинамического цикла, которое забирает теплоту из окружающей среды и передает ее потребителям [2]. Для работы теплового насоса могут использоваться различные природные источники теплоты: наружный воздух, вода наземных или подземных источников, тепло грунта, а также тепловые вторичные энергетические ресурсы (ВЭР). В зависимости от источника первичной энергии различают тепловые насосы грунтовые, воздушные и водяные. Теплоносителем в отопительном контуре может быть воздух или жидкий теплоноситель.

Воздушные тепловые насосы (рисунок 1) преобразуют низкопотенциальную энергию наружного воздуха в тепловую энергию более высокого потенциала, достаточного для использования в системе теплоснабжения. Они могут работать при температуре наружного воздуха до минус 20-25 °С, а некоторые модели и до минус 30 °С (таблица 1). Воздушные тепловые насосы производятся двух типов: моноблочные, где все компоненты размещены в одном корпусе, и сплит-системы, состоящие из двух частей. Моноблочные воздушные ТН делятся на модели для внутреннего монтажа, которые устанавливаются в помещении, и модели наружной установки. Сплит-модели воздушных тепловых насосов имеют внешний блок, который получает энергию из окружающей среды, и внутренний, который устанавливается в помещении и отвечает за передачу тепла к отопительной системе [3].

Таблица 1 – Технические характеристики воздушных тепловых насосов

Производитель	Модель	Тепловая мощность, кВт	Потребляемая мощность, кВт	COP	Температура источника, °С	Максимальная температура в контуре, °С	Стоимость, тыс. руб.
Meeting (Китай)	MD50D	18	4,4	4,1	До -25	60	330
Meeting (Китай)	MD120D	40	10,1	4,0	До -25	60	753
Cooper&Hunter (США)	CH-HP20UI MPRM	20	7,5	4,0	До -25	60	880
Cooper&Hunter (США)	CH-HP31U MNM	31	7,5	4,0	До -30	60	960
Mammoth (Китай)	Mac 24 HC	26	7,9	3,3	-	-	600
Mammoth (Китай)	Mac 090 KS	30	7,6	3,3	-	-	750
Mitsubishi (Япония)	PUHZ-SW220VHA	25	6,25	4,0	До -20	60	520
Mitsubishi (Япония)	PUHZ-SW160VHA	22	5,2	4,2	До -20	60	380
NIBE (Швеция)	F2300-20	20	-	3,0	До -25	65	980

Существует несколько режимов работы теплонасосных установок, отличающихся составом теплогенерирующего оборудования: моновалентный режим, бивалентный альтернативный, бивалентный параллельный, бивалентный комбинированный [4, 5].

При моновалентном режиме эксплуатации тепловой насос является единственным источником тепловой энергии для отопления, вентиляции и ГВС. При этом требуемая максимальная температура подачи в отопительную систему должна быть немного ниже максимальной возможной температуры подачи теплового насоса.

При необходимости в более высоких температурных графиках системы отопления используют второй источник тепла. В этом случае тепловой насос выступает, как основной теплогенератор, а более высокую температуру системы отопления обеспечивает дополнительный пиковый котел (электродкотел). В этом случае режим работы теплонасосной установки называется бивалентным. При бивалентном параллельном режиме работы тепловой насос может быть единственным теплогенератором только до определенной температуры наружного воздуха. Ниже этой температуры должен включаться второй теплогенератор. При бивалентном альтернативном режиме работы тепловой насос несет полную тепловую нагрузку объекта, пока не достигнет точки бивалентности. После этого он отключается, а всю нагрузку воспринимает второй теплогенератор, который обеспечивает необходимый температурный график.

Использование тепловых насосов в системах автономного теплоснабжения сопряжено с определенными трудностями, к которым относятся:

- высокие начальные капитальные затраты, связанные с тем, что рынок теплонасосной техники в нашей стране в основном представлен тепловыми насосами зарубежного производства: Франции, Швеции, Германии, Японии, Китая, США и др.;

- ограничения по температуре теплоносителя на выходе из теплового насоса. Для работы теплового насоса с максимальным COP необходимо использовать низкотемпературные системы отопления, для которых требуется увеличенная площадь отопительных приборов по сравнению с традиционными системами, рассчитанными на температурный график 95/70 °С. Поэтому при реконструкции системы теплоснабжения требуется замена отопительных приборов, что влечет дополнительные затраты.

В этом случае вместо традиционных радиаторов целесообразно использовать фанкойлы. Фанкойл – это устройство, которое охлаждает или нагревает воздух в помещении (рисунок 2). Он состоит из двух частей: вентилятора (fan) и теплообменника (coil), в который поступает нагретый с помощью теплового насоса жидкий теплоноситель.



Рисунок 1 – Воздушный тепловой насос



Рисунок 2 – Фанкойл

Можно выделить следующие преимущества использования тепловых насосов для систем автономного теплоснабжения:

- 1) использование возобновляемого источника энергии – низкопотенциальной тепловой энергии окружающей среды;
- 2) взрыво- и пожаробезопасность, так как не используется горючее топливо;
- 3) возможность организации хладоснабжения объекта;
- 4) экологичность (отсутствие шума, выбросов, вибрации);
- 5) не требуется прокладка топливных (газовых) магистралей и систем дымоудаления;
- 6) относительная экономичность.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

При выполнении исследования были использованы такие общенаучные методы как описание, анализ, сравнение.

Определение среднемесячных тепловых нагрузок, а также планируемого годового расхода теплоты на отопление проводилось на базе нормативных расчетных методик [6]. Для этого использовались следующие формулы:

– среднемесячный расход теплоты на отопление здания, Вт:

$$Q_{\text{от мес}} = Q_{\text{от}} \cdot \frac{t_{\text{в}} - t_{\text{н ср}}}{t_{\text{в}} - t_{\text{н р}}} \cdot Z_{\text{мес}} \quad (1)$$

$t_{\text{в}}$ – расчетная температура внутри здания, °С;

$t_{\text{н ср}}$ – среднемесячная температура наружного воздуха за отопительный период, °С;

$t_{\text{н р}}$ – расчетная температура наружного воздуха в холодный период года, °С;

$Z_{\text{мес}}$ – продолжительность месяца отопительного периода, сут.

– планируемый годовой отпуск тепловой энергии на отопление, Вт·ч/год:

Отношение переданной потребителю тепловой энергии к затраченной электрической энергии называется коэффициентом трансформации теплоты или coefficient of performance (COP) или коэффициентом теплопроизводительности и позволяет рассчитать затраты электрической энергии на выработку тепла. Коэффициент трансформации теплоты можно вычислить по следующей формуле:

где $q_{\text{т}}$ – подведенная к отопительной системе теплота, кДж/кг; (3)

ℓ – затраченная внешняя работа, кДж/кг.

С помощью этого коэффициента можно оценить эффективность теплового насоса – чем он выше, тем эффективнее работает тепловой насос. Как правило, значение этого коэффициента приводится производителями тепловых насосов в технической документации к ним (таблица 1). График изменения COP воздушного теплового насоса Meeting модель MD50D представлен на рисунке 3.

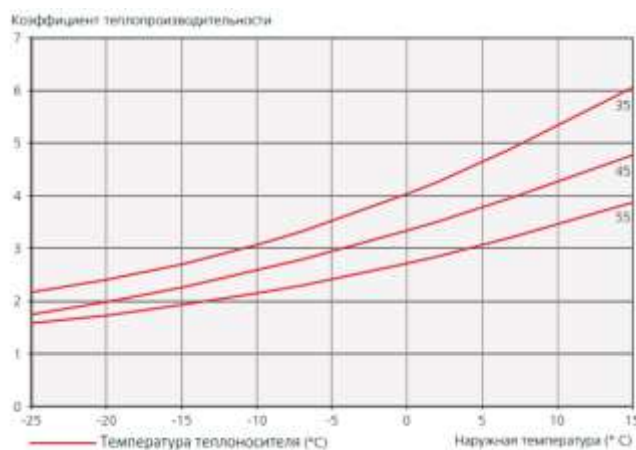


Рисунок 3 – График изменения COP для ТН Meeting модель MD50D

По графику видно, что коэффициент теплопроизводительности зависит от температуры наружного воздуха и температуры теплоносителя в системе теплоснабжения. Для всех воздушных тепловых насосов, представленных в таблице 1, COP приведен при температуре источника низкопотенциальной теплоты 0 °С и температуре потребителя 35 °С.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Выбор автономной системы теплоснабжения с использованием тепловых насосов типа «воздух-вода» проведен для производственно-технического отдела эксплуатационного вагонного депо в г. Черняховске, которое представляет собой одноэтажное здание площадью 369,5 м².

В настоящее время здание отапливается работающем на дизельном топливе котлом. Теплоносителем в системе отопления является вода с параметрами 70/50 °С. Отопительные приборы – алюминиевые радиаторы. Горячее водоснабжение для хозяйственно-бытовых нужд в зимнее время осуществляется с использованием тепла от дизельного котла в проточном теплообменнике. Вне отопительного сезона нагрев воды для ГВС происходит в электрических накопительных бойлерах.

Предлагается внедрить на исследуемом объекте систему теплоснабжения с использованием воздушных тепловых насосов с целью уменьшения расхода энергоресурсов и снижения эксплуатационных затрат на выработку тепловой энергии. Основными факторами экономии являются:

- перевод теплогенерации с жидкого дизельного топлива на современное энергоэффективное теплогенерирующее оборудование;
- полная автоматизация работы основного и вспомогательного оборудования котельной – не требуется постоянное присутствие персонала;
- автоматизация отпуска тепловой энергии в соответствии с погодозависимым графиком – снижение производства излишков тепловой энергии.

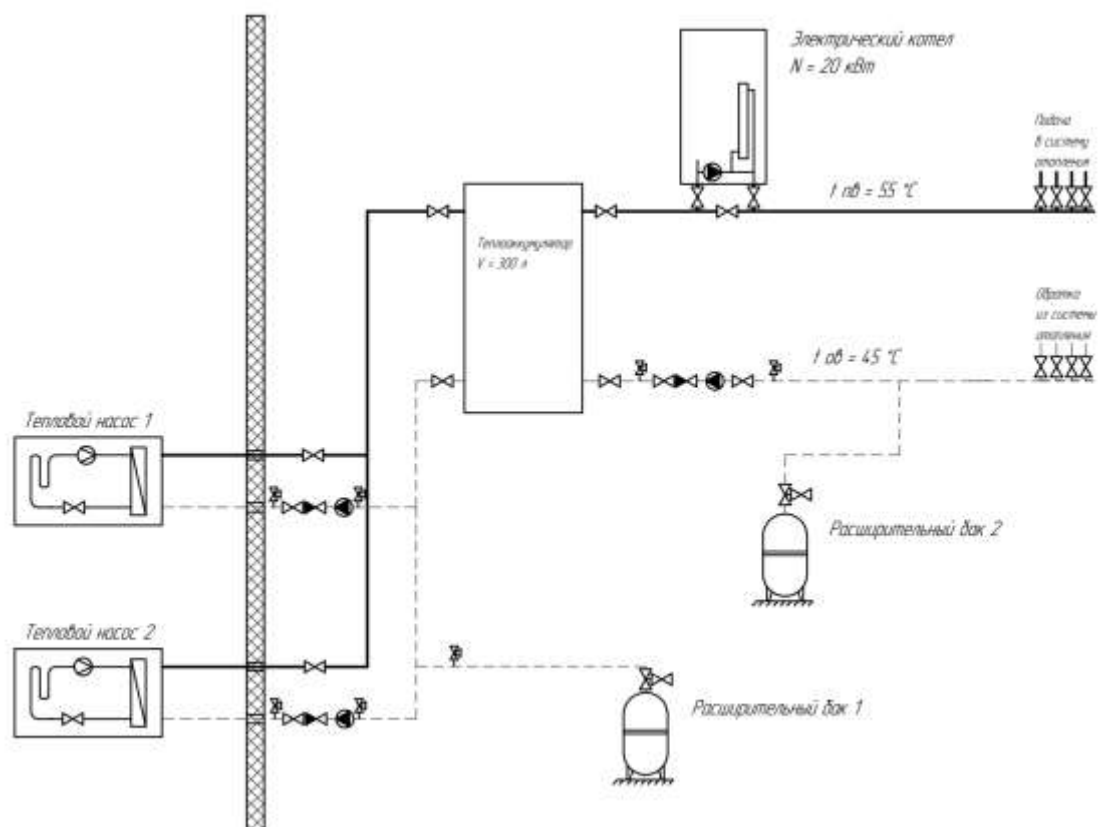


Рисунок 4 – Принципиальная тепловая схема генерации теплоты с воздушными тепловыми насосами

Чтобы получить вывод о целесообразности использования тепловых насосов для системы автономного теплоснабжения производственно-технического отдела, был проведен оценочный расчет затрат на теплоснабжение в отопительный период для нескольких вариантов системы теплоснабжения. В первом случае в качестве источника теплоснабжения рассматривалась дизельная котельная, во втором – система из двух тепловых насосов и вспомогательного электрического котла, подключенного параллельно, и в третьем случае – один тепловой насос и подключенный параллельно вспомогательный электрический котел. Для системы автономного теплоснабжения с тепловыми насосами принят бивалентный параллельный режим работы.

Для второго и третьего вариантов системы автономного теплоснабжения были выбраны воздушные тепловые насосы. Для этого предварительно было проведено сравнение тепловых насосов разных производителей с подходящими характеристиками, которое представлено в таблице 1. Исходя из полноты данных, а также из текущей доступности оборудования, для второго случая выбраны два насоса китайского производителя Meeting модель MD50D тепловой мощностью по 18 кВт, стоимостью 330 тыс. рублей. Для третьего случая выбран один тепловой насос от того же производителя модель MD120D тепловой мощностью 40 кВт, стоимостью 753 тыс. рублей. В обоих вариантах в качестве пикового доводчика предлагается использовать электрический котел мощностью 20 кВт. Средняя стоимость электрического котла составляет примерно 40 тыс. рублей.

Разработаны тепловые схемы для систем генерации теплоты с воздушными тепловыми насосами. Принципиальная тепловая схема для второго варианта системы автономного теплоснабжения показана на рисунке 4.

По формулам (1)-(3) с учетом климатологической информации [7] и зависимостей коэффициента трансформации теплоты выбранных ТН от температуры наружного воздуха и теплоносителя в системе отопления (рисунок 3) были определены среднеемесячные расходы теплоты на отопление и потребление электроэнергии тепловыми насосами по месяцам отопительного сезона. Исходные данные и результаты расчетов приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты расчетов тепловых нагрузок

Месяц	Среднемесячная температура, С°	СОР	Расчётные тепловые нагрузки по месяцам, ГДж/мес.	Потребление электроэнергии, кВт·ч/мес.
Октябрь	7,5	4,0	29,7	2063
Ноябрь	2,9	3,6	39,6	3056
Декабрь	-0,9	3,3	49,1	4134
Январь	-3,1	3,1	54,5	4886
Февраль	-2,5	3,2	52,1	4522
Март	1,0	3,4	42,5	3473
Апрель	6,0	3,9	29,6	2110

Проведенные расчеты технико-экономических показателей с учетом прогнозируемых капитальных вложений и эксплуатационных затрат представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Основные технико-экономические показатели

Наименование показателя	Дизельный котел	Два тепловых насоса MD50D и электродкотел	Тепловой насос MD120D и электродкотел
Стоимость топлива, руб./л	46,7	-	-
Тариф на электроэнергию, руб./кВт·ч	-	5,56	5,56
Выработка тепловой энергии, ГДж/год	297,2	297,2	297,2
Удельные затраты с учетом амортизационных отчислений, руб./ГДж	3469,2	1292,4	1440,6

По результатам сравнения полученных удельных затрат видно, что система отопления с тепловыми насосами в обоих случаях оказывается более выгодной, чем использование котлов на дизельном топливе. В связи с чем можно рекомендовать использование тепловых насосов типа «воздух-вода» для реконструкции системы теплоснабжения автономных объектов с подобными тепловыми нагрузками при отсутствии возможности подключения к газопроводам природного газа.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В проведенном исследовании выполнен обзор и сравнение воздушных тепловых насосов разных производителей для системы теплоснабжения с заданной тепловой нагрузкой, режимов работы теплонасосных установок и типов воздушных тепловых насосов, что позволило выбрать оборудование и режим работы системы генерации теплоты, разработать тепловую схему. Кроме того, в процессе исследования системы автономного теплоснабжения объекта выполнена оценка тепловых нагрузок с учетом климатологической информации и нормативных расчетных характеристик, определены среднемесячная выработка тепловой энергии и потребление электроэнергии тепловыми насосами.

Полученные в результате расчетов удельные затраты на выработку тепловой энергии позволяют сравнить предлагаемую систему генерации теплоты с тепловыми насосами с действующей с жидкотопливным котлом. А также сделать выбор в пользу одной из предлагаемых схем для объекта исследования или другого объекта с аналогичной тепловой нагрузкой.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Правительство Российской Федерации. Распоряжение от 9 июня 2020 г. № 1523-р. Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2035 года. [Электронный ресурс]. URL: <http://government.ru/news/39847/> (дата обращения: 31.03.2022).
2. Тепловые насосы в современной промышленности и коммунальной инфраструктуре. Информационно-методическое издание. – Москва: Издательство «Перо», 2016. – 204 с.

3. Говорин, А.В. Воздушные ТН. Варианты применения и эксплуатации / А.В. Говорин // Журнал «СОК». – 2014. – №10. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.c-ok.ru/articles/vozdushnye-tn-varianty-primeneniya-i-ekspluatacii> (дата обращения: 02.04.2022).

4. ГОСТ Р 54865-2011 Теплоснабжение зданий. Методика расчета энергопотребности и эффективности системы теплогенерации с тепловыми насосами. – Москва: Стандартинформ, 2012.

5. Топорен, С.С. Методическое пособие по дисциплине «Инновационные технологии и оборудование систем теплогазоснабжения и вентиляции» часть 1 Проектирование теплонасосной системы теплоснабжения жилого дома / С.С. Топорен, О.Н. Зайцев. – Симферополь, 2019. – 88 с.

6. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети: учебник для вузов / Е.Я. Соколов. – Москва: Изд-во МЭИ, 2001. – 472 с.

7. ТСН 23-314-2000-КалО. Территориальные строительные нормы Калининградской области. Нормативы (нормы) по энергосберегающей теплозащите жилых и общественных зданий. [Электронный ресурс]. URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4294848/4294848530.htm> (дата обращения: 10.04.2022).

SELECTION OF AIR HEAT PUMPS FOR INDEPENDENT HEAT SUPPLY SYSTEMS

Urazbaev D.E., student
e-mail: rainger61@gmail.com
Kaliningrad State Technical University

Berkova E.A., engineer
e-mail: elena.berkova@klgtu.ru
Kaliningrad State Technical University

This article reviews and compares air source heat pumps from different manufacturers for a heat supply system with a given heat load. The results of a technical and economic analysis of options for organizing an autonomous heating system based on air heat pumps in comparison with a diesel boiler are presented. The thermal scheme of the heat supply system with two air source heat pumps is given.

Key words: *heat pump, heat pump unit, autonomous heating system, low-grade thermal energy.*