

УДК.536.1

ЭНЕРГОЭФЕКТИВНОСТЬ ТЕПЛОНАСОСНЫХ СИСТЕМ ОТОПЛЕНИЯ В КОТТЕДЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Никитин А.А., Крылов В.А., Чурашов О.С.

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики» «институт холода и биотехнологий», г. Санкт-Петербург.

Рациональное использование топливно-энергетических ресурсов представляет сегодня собой одну из глобальных мировых проблем, успешное решение которой, по-видимому, будет иметь определяющее значение не только для дальнейшего развития мирового сообщества, но и для сохранения среды его обитания. Одним из перспективных путей решения этой проблемы является применение новых энергосберегающих технологий, использующих нетрадиционные возобновляемые источники энергии. Истощение запасов традиционного ископаемого топлива и экологические последствия его сжигания обусловили в последние десятилетия значительное повышение интереса к этим технологиям практически во всех развитых странах мира. Преимущества технологий теплоснабжения, использующих нетрадиционные источники энергии, по сравнению с их традиционными аналогами связаны не только со значительными сокращениями затрат энергии в системах жизнеобеспечения зданий и сооружений, но и с их экологической чистотой, а также с новыми возможностями в области повышения степени автономности систем жизнеобеспечения. По всей видимости, в недалеком будущем именно эти качества будут иметь определяющее значение в формировании конкурентной ситуации на рынке теплогенерирующего оборудования [1].

В последнее десятилетие все большее распространение в мире получают новые энергоэффективные технологии жизнеобеспечения зданий, базирующиеся на применении теплонасосных систем теплоснабжения с использованием низкопотенциальной энергии грунта или окружающего воздуха. Системы сбора низкопотенциальной тепловой энергии грунта поверхностных слоев Земли, или системы теплосбора, в общем случае включают в себя грунтовый теплообменник и трубопроводы, соединяющие его с теплонасосным оборудованием. Источником низкопотенциальной энергии воздушного теплового насоса является уличный воздух.

На протяжении нескольких лет специалисты в области систем отопления спорят о том, какая же система отопления наиболее рациональна для коттеджного строительства. На сегодняшний день существует множество технических решений для обеспечения автономного теплоснабжения загородного дома. Системы автономного отопления создаются на базе теплогенерирующего оборудования, использующего сжиженный газ; дизельное топливо; пеллеты; низкопотенциальную теплоту поверхностных слоев Земли и окружающего уличного воздуха; электрическую энергию. При выборе той или иной системы отопления для загородного строительства специалисты, как правило, руководствуются наработанным опытом и ценой на энергоносители, использование же теплонасосного оборудования зачастую применяется только по настоянию заказчика. При этом желание заказчика установить тепловой насос продиктовано маркетинговой и рекламной политикой производителей тепловых насосов. Как правило, рекламные буклеты теплонасосного оборудования рассказывают о том, что это оборудование является высокотехнологичным и

энергоэффективным, удобным в эксплуатации и т.д., и указывают довольно скудную техническую информацию.

Для сравнения эффективности различных автономных систем отопления загородного строительства предлагается рассмотреть капитальные, эксплуатационные затраты на отопления коттеджа и рассчитать срок окупаемости для каждой системы. В качестве объекта был выбран частный дом в посёлке Парголово Ленинградской области. Для сравнительного анализа были выбраны системы радиаторного отопления и горячего водоснабжения на базе следующего оборудования:

1. Электрочотёл Buderus.
2. Газовый (сжиженный) котёл Buderus.
3. Дизельный котёл Buderus.
4. Пеллетный котёл Buderus.
5. Геотермальный тепловой насос Dimplex.
6. Воздушный тепловой насос Dimplex.
7. Воздушный тепловой насос с двухступенчатым сжатием Mitsubishi Electric Zubadan.

В таблице исходных данных представлены характеристики здания и тарифы на энергоносители для Санкт-Петербурга (табл. 1).

Таблица 1. Исходные данные

Исходные данные		
Площадь дома	176	м ²
Температура воздуха в помещении	20	°С
Кол-во проживающих	4	чел.
<i>Количество проживающих используется для расчета эксплуатационных расход на приготовление горячей воды на год. В расчете принято 70 литров горячей воды на одного человека в сутки.</i>		
Материал наружных стен	Утеплитель 200 мм.	
Теплопотери при расчетной температуре наружного воздуха в регионе	11.74	кВт
Регион	Санкт-Петербург	
Продолжительность отопительного периода*	220	Суток
Средняя температура за отопительный период*	-1.8	°С
Расчетная температура наружного воздуха*	-26.0	°С
Тарифы на энергоносители. Санкт-Петербург 2015 г.		
Электроэнергия (среднесуточный)	3.14	руб./кВт•ч
Газ (магистральный)	5.24	руб./м ³
Дизель	32.00	руб./литр
Пеллеты	8.00	руб./кг
Сжиженный газ	17.50	руб./л

Очевидно, что теплотери здания, а соответственно и требуемая производительность теплогенерирующей системы будет зависеть от температуры окружающего (уличного) воздуха. На рис. 1 представлен график температур воздуха по официальным данным архива Гидрометцентра РФ за 2006-2011 гг. для г. Санкт-Петербург.

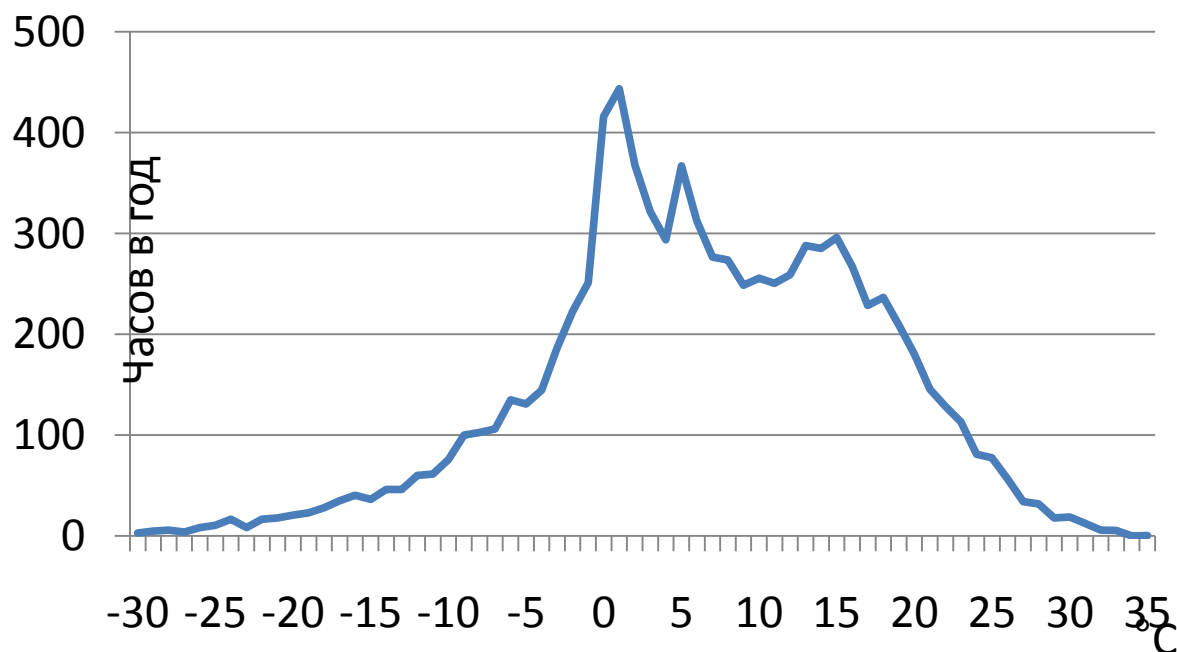


Рис. 1. График температур, г. Санкт-Петербург

Для систем отопления, использующих в качестве энергоносителей электроэнергию, газ, дизель, пеллеты и низкопотенциальную теплоту грунта, коэффициент полезного действия слабо зависит от уличной температуры. Эффективность же воздушных тепловых насосов резко падает с понижением температуры окружающего воздуха (рис.2). Для уменьшения капитальных затрат на оборудования при использовании воздушных тепловых насосов вводят понятие бивалентный режим работы. Бивалентный режим работы теплонасосной системы – это использование двух источников тепловой энергии. Первый источник – это низкопотенциальная теплота окружающего воздуха, второй – как правило, электрическая энергия, преобразуемая в тепло, то есть использование трубчатого электрического нагревателя (ТЭН). ТЭН включается в работу, когда производительность воздушного теплового насоса снижается с понижением уличной температуры.

На рис. 2 представлены график зависимости теплотерь здания и мощности воздушного теплового насоса Dimplex от температуры уличного воздуха. При минимальной температуре воздуха на улице -26°C теплотери здания составляют 11,7 кВт. Точку пересечения зависимостей теплотерь здания и мощности воздушного теплового насоса называют точкой бивалентности. Как видно из графиков, представленных на (рис.2), точке бивалентности соответствует температура воздуха -10°C и теплотери здания 8 кВт. Таким образом, точка бивалентности показывает, что воздушный тепловой насос Dimplex будет эффективно работать при температуре воздуха на улице не ниже -10°C , а необходимая теплопроизводительность теплового

насоса составит 8 кВт. При температуре воздуха ниже $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ в работу включается ТЭН, который обеспечивает компенсацию всех теплопотерь здания.

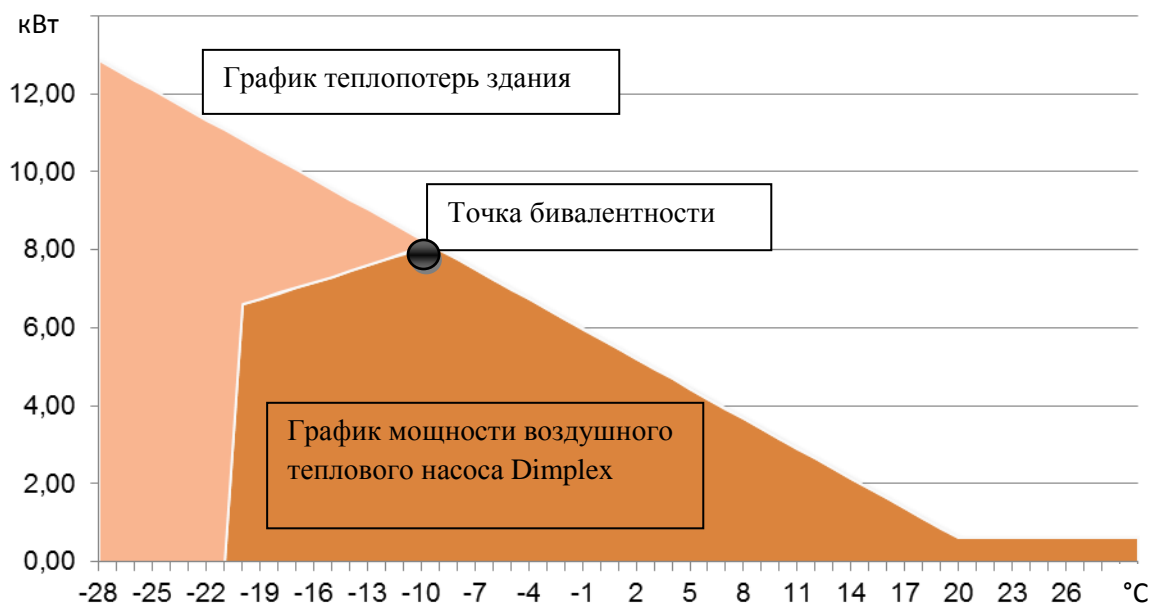


Рис. 2. Точка бивалентности

Обращаем внимание на то, что работа в режиме бивалентности (при температуре воздуха ниже $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$) составляет всего 542 часа или 9,7% за весь отопительный период.

Расчёты показали, что точка бивалентности для воздушного теплового насоса Mitsubishi Electric Zubadan соответствует температуре уличного воздуха $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$, теплопроизводительность теплового насоса $9,5\text{ кВт}$, а работа в бивалентном режиме 182 часа или 3% за весь отопительный период.

Эффективность работы теплового насоса оценивают по коэффициенту преобразования (COP) или, как его ещё называют, отопительному коэффициенту. Коэффициент преобразования COP (Coefficient of Performance) представляет собой отношение между теплопроизводительностью и потребляемой электроэнергией, т.е. COP показывает количество тепла, получаемое при затраченной единице электричества. Среднегодовые коэффициенты преобразования с учётом работы тепловых насосов в бивалентном режиме (с учётом работы ТЭНов) составили:

- Геотермальный тепловой насос Dimplex 4,17
- Воздушный тепловой насос Dimplex 2,7
- Воздушный тепловой насос Mitsubishi Electric Zubadan 3,1

Как видно, самый высокий коэффициент преобразования у геотермального теплового насоса. На каждый затраченный киловатт электроэнергии потребитель получает $4,17\text{ кВт}$ тепловой энергии. Такой высокий COP обеспечивается благодаря использованию низкопотенциального тепла грунта. На глубине 5-10 метров от поверхности Земли температура грунта постоянна и составляет $5-7\text{ }^{\circ}\text{C}$ [2]. Воздушные тепловые насосы работают с уличным воздухом с температурой ниже $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, соответственно и отопительный коэффициент у них ниже, чем у геотермальных тепловых насосов. В тепловых насосах Mitsubishi Electric Zubadan используется двухступенчатое сжатие, что позволило понизить температуру точки бивалентности,

сократить время работы ТЭНов. Поэтому среднегодовой COP воздушного теплового насоса Mitsubishi Electric Zubadan несколько выше, чем у аналогичной системы фирмы Dimplex.

Зная график температур уличного воздуха, коэффициенты эффективности тепловых насосов, а так же теплотворную способность каждого вида топлива не сложно рассчитать потребность здания в энергоресурсах, а так же эксплуатационные расходы на энергоносители (табл. 2).

Таблица 2. Потребность в энергоресурсах

Потребность в энергоресурсах		
Потребность в тепловой энергии	36 030	кВт•ч/год
Расход электроэнергии геотермального теплового насоса Dimplex	8 640	кВт•ч/год
Расход электроэнергии воздушного теплового насоса Dimplex с учетом ТЭНов	13 344	кВт•ч/год
Расход электроэнергии воздушного теплового насоса Mitsubishi Electric Zubadan с учетом ТЭНов	11 623	кВт•ч/год
Расход дизельного топлива	4 008	л/год
Расход пеллет	9 145	кг/год
Расход сжиженного газа	5 147	л/год
Эксплуатационные расходы		
Электроотопление (электрический котёл)	113 134	руб./год
Дизельный котел	128 256	руб./год
Газовый котел (сжиженный газ)	90 072	руб./год
Пеллетный котел	73 160	руб./год
Геотермальный тепловой насос Dimplex	27 130	руб./год
Воздушный тепловой насос Dimplex	41 900	руб./год
Воздушный тепловой насос Mitsubishi Electric Zubadan	36 496	руб./год

Как видно из табл. 2, наиболее затратными по эксплуатации способами автономного отопления являются системы, использующие электрические и дизельные котлы. Тепловые насосы же позволяют сэкономить существенные денежные средства на эксплуатационных расходах. Низкие эксплуатационные затраты теплонасосных систем объясняются высокими коэффициентами преобразования COP, а, следовательно, и низкими расходами энергоносителей.

Ещё один важный фактор при выборе автономной системы отопления малоэтажного загородного строительства – это капитальные затраты на оборудование, проектные и монтажные работы (табл. 3).

Таблица 3. Капитальные затраты

Капитальные затраты в ценах 2015 г.		
Электроотопление (электрический котёл)	960 000	руб
Дизельный котел	1 290 000	руб
Газовый котел (сжиженный газ)	1 210 000	руб
Пеллетный котел	1 402 000	руб
Геотермальный тепловой насос Dimplex	2 602 880	руб
Воздушный тепловой насос Dimplex	1 748 800	руб
Воздушный тепловой насос Mitsubishi Electric Zubadan	2 353 200	руб

При расчёте капитальных затрат учитывалась стоимость основного оборудования (котёл или тепловой насос), насосные группы, запорно-регулирующая арматура, радиаторы отопления, система горячего водоснабжения, а так же стоимость проектных, монтажных и пуско-наладочных работ. Высокая стоимость системы с использованием геотермального теплового насоса объясняется наличием дополнительного контура циркуляции теплоносителя в грунте, который требует установки дополнительных насосных групп, запорно-регулирующей арматуры и бурения скважин под геотермальные зонды.

Используя данные по капитальным и эксплуатационным затратам нетрудно определить срок окупаемости для различных систем. Наиболее распространённой и часто применяемой системой является электроотопление. Эта система проста в эксплуатации, требует относительно небольших капитальных затрат. Однако, эксплуатационные затраты достаточно велики. В виду этих факторов целесообразно рассчитывать сроки окупаемости именно в сравнении с системой электроотопления (рис. 3).

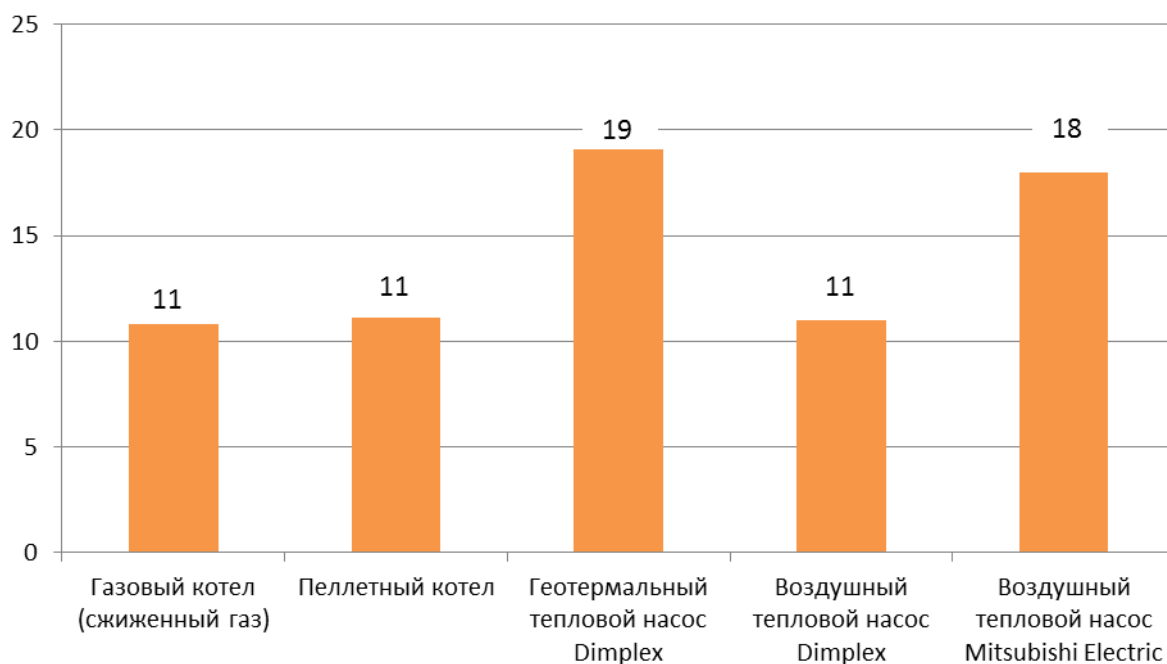


Рис. 3. Срок окупаемости

В виду высокой стоимости капитальных и эксплуатационных затрат, система с дизельным котлом в расчёте срока окупаемости не участвует. Такую систему имеет смысл использовать только в тех случаях, когда отсутствуют альтернативные дизельному топливу источники энергии.

Как видно из рис. 3 срок окупаемости воздушного теплового насоса Dimplex такой же, как и у систем с газовым и пеллетным котлами. Большой срок окупаемости воздушного теплового насоса Mitsubishi Electric обусловлен высокой стоимостью самого теплового насоса и бака подготовки горячей воды.

Стоимость работ и материалов по созданию грунтового контура геотермального теплового насоса составляет 15% от капитальных затрат. Поэтому несмотря на низкие эксплуатационные затраты, срок окупаемости геотермального теплового насоса составляет 19 лет. Сокращение срока окупаемости геотермального теплового насоса видится в уменьшении затрат на создание грунтового коллектора. Этого можно добиться либо использованием теплонасосной системы не только в отопительный период, но и летом в качестве источника холодоснабжения системы кондиционирования воздуха [3], либо оптимизацией самого грунтового коллектора [4].

Литература

1. Никитин А.А. Использование приборов для измерения теплофизических характеристик веществ при проектировании геотермальных тепловых насосов. - Санкт-Петербург, 2012.
2. Васильев Г.П. Теплохладоснабжение зданий и сооружений с использованием низкопотенциальной тепловой энергии поверхностных слоёв земли. Москва, издательский дом «Граница», 2006г.
3. Никитин А.А. Теплонасосные системы как источник тепло- и хладоснабжения зданий. - София, 2012. - Т. 1. - С. 207-212.
4. Никитин А.А., Крылов В.А., Рябова Т.В., Черноозерский В. Численное моделирование распределения тепловых потоков в системах с геотермальными теплообменниками. - Могилев: Учреждение образования «Могилевский государственный университет продовольствия», 2014. - 2. - С. 80. - 247 с. - ISBN 985-476-293-9.