

УДК 696/697

Е. В. Горбенкова, А. В. Папсуева

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ ПРИ УСТРОЙСТВЕ ИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ ОБЪЕКТОВ ПРИДОРОЖНОГО СЕРВИСА

UDC 696/697

E. V. Gorbenkova, A. V. Papsueva

THE EFFICIENCY OF THE APPLICATION OF THERMAL PUMPS IN DESIGNING ENGINEERING SYSTEMS FOR ROADSIDE SERVICE FACILITIES

Аннотация

Дан сравнительный анализ инженерных систем, рассмотрены вопросы энерго- и ресурсосбережения в инженерных системах. Обосновано применение тепловых насосов в системах тепло- и хладоснабжения. Приведен расчет капитальных и эксплуатационных затрат для различных видов инженерных систем и определен срок окупаемости теплонасосных систем. Проанализированы перспективы использования тепловых насосов в Республике Беларусь для оборудования объектов придорожного сервиса.

Ключевые слова:

тепловой насос, объекты придорожного сервиса, энергосберегающие технологии, капитальные и эксплуатационные затраты.

Abstract

The paper gives the comparative analysis of engineering systems and considers the issues of energy- and resource-saving in engineering systems. The application of thermal pumps in heating and cooling systems is justified. The estimation of capital and operating costs of different types of engineering systems is given and payback time for thermal pumping systems is defined. The prospects of using thermal pumps for equipping roadside service facilities in the Republic of Belarus are analyzed.

Key words:

thermal pump, roadside service facilities, energy-saving technologies, capital and operating expenses.

Введение

Рациональное использование топливно-энергетических ресурсов представляет сегодня одну из глобальных мировых проблем. Перспективным путем решения этой проблемы является применение новых энергосберегающих технологий, использующих нетрадиционные возобновляемые источники энергии [1].

В качестве приоритетного направления использования нетрадиционных источников энергии наибольший интерес представляет область тепло- и

хладоснабжения как наиболее емкий мировой потребитель топливно-энергетических ресурсов. Преимущества технологий тепло- и хладоснабжения, использующих нетрадиционные источники энергии, в сравнении с их традиционными аналогами связаны не только со значительными сокращениями затрат энергии в системах жизнеобеспечения зданий и сооружений, но и с экологической чистотой, новыми возможностями в области повышения степени автономности систем тепло- и хладоснабжения. Представляется, что именно эти качест-

ва будут иметь определяющее значение в формировании конкурентной ситуации на рынке тепло- и хладогенерирующего оборудования как в нашей стране, так и за рубежом.

Тепло- и хладоснабжение с помощью тепловых насосов относится к области энергосберегающих экологически чистых технологий и получает все большее распространение в мире. Эта технология по заключению целого ряда авторитетных международных организаций, наряду с другими энергосберегающими технологиями (использование солнечной, ветровой энергии, энергии океана и т. п.), относится к технологиям XXI в.

Объекты придорожного сервиса, как правило, удалены от населенных пунктов, и не всегда возможно их подключение к магистральному газопроводу.

Поэтому для систем отопления таких объектов используются котлы на твердом (или жидком) топливе или электрические котлы. Эффективной заменой вышеперечисленным будет система отопления на основе теплового насоса.

Системы с использованием тепловых насосов находятся среди наиболее эффективных систем отопления, имеющих в настоящее время.

Следует учитывать не только низкие затраты на получение тепловой энергии, но и экономию средств, если учитывать расходы на содержание и техническое обслуживание инженерной системы.

К основным преимуществам тепловых насосов относятся:

- высокая экономическая эффективность. 1 кВт затраченной электроэнергии производит от 2,5 до 4 кВт и более тепловой энергии или от 15 до 25 кВт мощности по охлаждению. Тепловой насос использует введенную в него энергию на порядок эффективнее любых тепловых генераторов, сжигающих топливо и использующих электрическую энергию;

- автономность и универсальность. Работа теплового насоса не зависит от поставок органического топлива, отсутствует необходимость в прокладке тепловых и газовых коммуникаций, возможно использование в любых климатических условиях и в любой местности. В одном комплекте оборудования потребитель получает одновременно системы отопления, охлаждения и нагрева воды;

- экологическая безопасность. Метод отопления и кондиционирования экологически чистый. Во время работы отсутствуют вредные выбросы в окружающую среду и негативное воздействие на организм человека;

- безопасность эксплуатации. Отсутствие топлива исключает возможность пожаров, взрывов, утечку опасных для организма человека веществ;

- долговечность и комфорт. Относительная простота устройства позволяет увеличить срок эксплуатации до 25 лет без капитального ремонта. Тепловой насос работает устойчиво, колебания температуры и влажности в помещении минимальны, отсутствует шум, применяется климатический контроль.

Теплонасосные установки.

Принцип работы

На рис. 1 представлена принципиальная схема работы системы с тепловым насосом (ТН).

В испаритель (пластинчатый теплообменник) поступает теплоноситель из низкопотенциального источника тепла (коллектора). Теплоноситель передает полученное в коллекторе слабое тепло хладагенту с низкой температурой кипения (-10°C для типа грунт-вода). Далее газообразный хладагент поступает в компрессор, где происходит сильное сжатие, вследствие чего его температура возрастает от 80 до 100°C . Затем горячий и сжатый газ направляется в конденсатор, охлаждаемый теплоносителем системы отопления (вода, антифриз и т. п.).

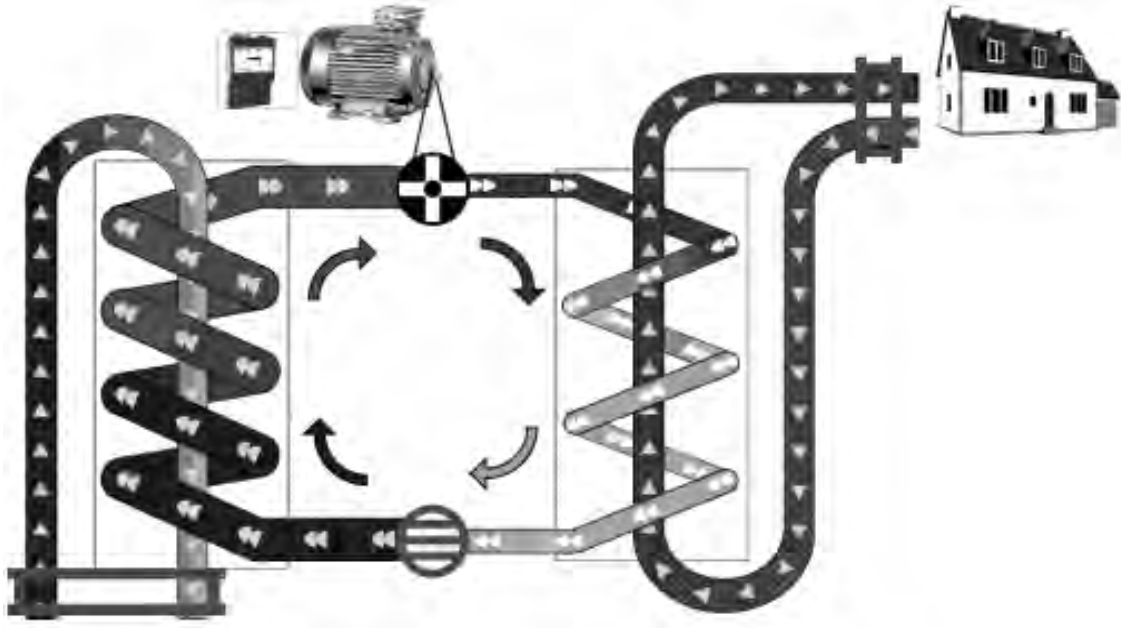


Рис. 1. Принципиальная схема работы системы с тепловым насосом

Хладагент при этом охлаждается и направляется к дроссельному клапану, пройдя который он теряет давление, температуру и в жидком состоянии возвращается в испаритель. Цикл завер-

шился и будет автоматически повторяться, пока работает компрессор [2].

Термодинамический цикл теплового насоса в $T-S$ диаграмме [3] представлен на рис. 2.

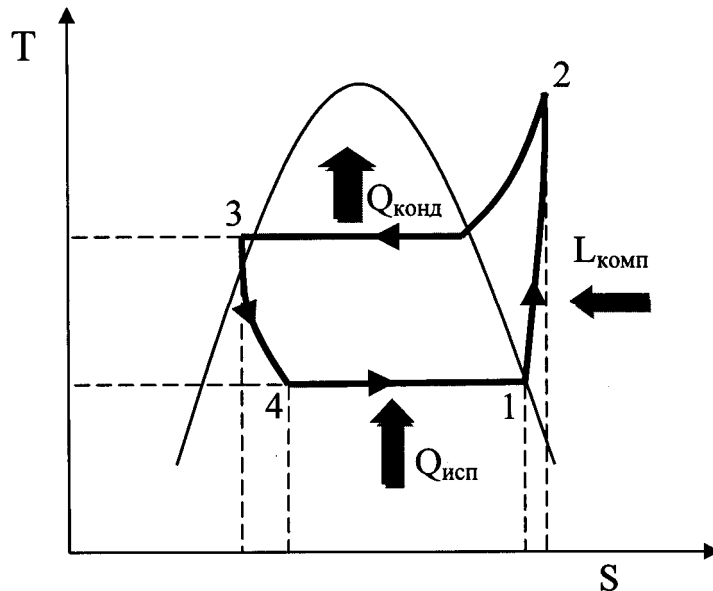


Рис. 2. Термодинамический цикл теплового насоса в $T-S$ диаграмме: 1...2 – сжатие в компрессоре; 2...3 – отвод тепла к потребителю; 3...4 – расширение через дроссель; 4...1 – подвод тепла от низкопотенциального источника

Как и холодильная машина, тепловой насос потребляет энергию на реализацию термодинамического цикла (привод компрессора). Коэффициент преобразования теплового насоса (отношение тепловой производительности к электропотреблению) зависит от уровня температур в испарителе и конденсаторе и колеблется в различных системах в диапазоне от 2,5 до 5, т. е. на 1 кВт затраченной электрической энергии тепловой насос производит от 2,5 до 5 кВт тепловой энергии. Температурный уровень теплоснабжения от тепловых насосов составляет от 35 до 55 °С. Экономия энергетических ресурсов достигает 70 % [3].

На рис. 3 представлены зависимости идеального и действительного (реального) коэффициента преобразования ТН от температур испарения и конденсации хладагента [3].

Энергетический баланс ТН записывается следующим образом:

$$Q_{\text{конд}} = Q_{\text{исп}} + L_{\text{комп}}, \quad (1)$$

где $Q_{\text{конд}}$ – теплота, отводимая от конденсатора; $Q_{\text{исп}}$ – теплота, подводимая к испарителю; $L_{\text{комп}}$ – работа компрессора.

Коэффициент преобразования теплового насоса определяется по формуле

$$\varphi = \frac{Q_{\text{конд}}}{L_{\text{комп}}} = \frac{\alpha \cdot T_{\text{конд}}}{T_{\text{конд}} - T_{\text{исп}}}, \quad (2)$$

где $T_{\text{конд}}$ – температура конденсации рабочего тела; $T_{\text{исп}}$ – температура испарения рабочего тела; α – суммарный коэффициент потерь теплового насоса (потери цикла, потери в компрессоре, потери от необратимости при теплопередаче и т. п.).

Идеальный коэффициент преобразования теплового насоса

$$\varphi = \frac{T_{\text{конд}}}{T_{\text{конд}} - T_{\text{исп}}}. \quad (3)$$

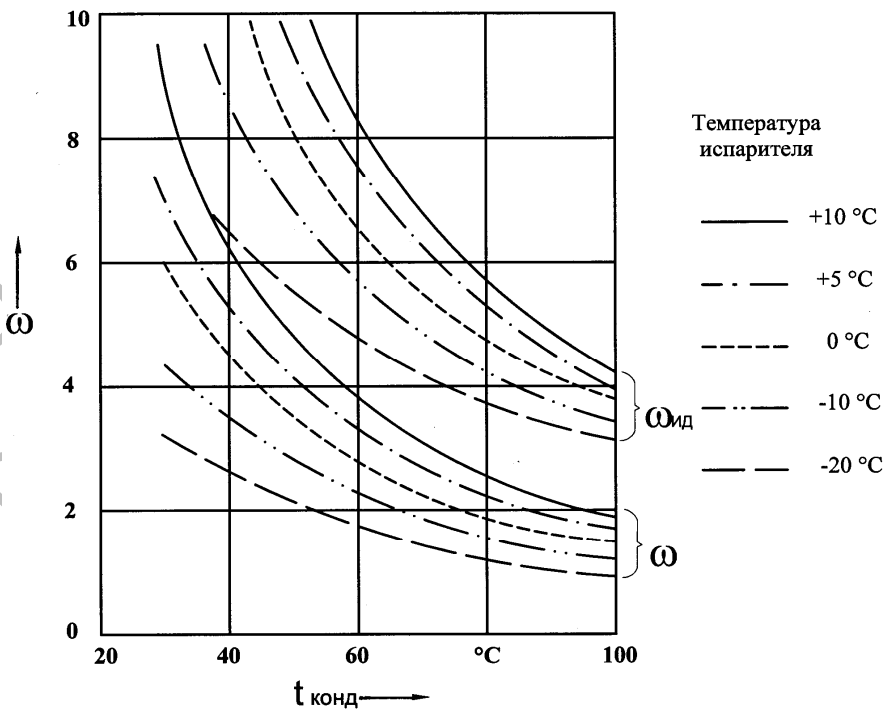


Рис. 3. Зависимость идеального и действительного (реального) коэффициента преобразования теплового насоса от температур испарения и конденсации хладагента

Основные принципы подбора теплового насоса

Эффективность применения теплового насоса зависит от источника поступления низкотемпературного тепла и от способа обогрева здания [4]. Следует учитывать, что использование тепловых насосов для тепло- и хладоснабжения требует современных архитектурно-планировочных, конструктивных и инженерно-технологических решений по всему объекту в целом.

Чем больше разница температур теплоносителей во входном и выходном контурах, тем меньше коэффициент преобразования тепла (отношение произведенной насосом тепловой энергии к количеству затраченной на его работу электроэнергии), т. е. меньше экономия электроэнергии [3]. Поэтому более эффективным является подключение агрегата к низкотемпературным системам отопления.

Для достижения экономического эффекта практикуется эксплуатация тепловых насосов в паре с дополнительным генератором тепла (бивалентная схема).

Использование моновалентной схемы экономически нецелесообразно, т. к. стоимость теплового насоса и, в частности, коллектора увеличивается с его мощностью.

А так как количество действительно холодных (ниже -20°C) дней не превышает 10 % от длительности отопительного сезона [5], эксплуатировать тепловой насос при максимальной мощности будут всего лишь около двух-трех недель в течение всего отопительного периода. Поэтому мощность теплового насоса назначается от 70 до 80 % от расчетной отопительной мощности. Эта мощность будет покрывать все потребности здания в тепле до тех пор, пока температура наружного воздуха не опустится ниже определенного расчетного уровня (температуры бивалентности), например, -15°C . С этого

момента в работу включается второй (добавочный) генератор тепла. Существуют различные варианты дополнительного источника тепла, однако чаще всего используется небольшой электронагреватель.

Типы коллектора

Горизонтальный коллектор.

Грунт имеет свойство накапливать и сохранять солнечное тепло в течение длительного времени, что ведет к относительно равномерному уровню температуры источника тепла на протяжении всего года. Это обеспечивает эксплуатацию теплового насоса с высоким коэффициентом. Забор тепла из грунта осуществляется с использованием проложенной в грунте системы пластиковых труб на глубине от 1,2 до 1,5 м (рис. 4, а).

Вертикальный коллектор.

Вертикальный зонд – это система труб, опускаемых в скважину, глубина и количество которых зависит от мощности теплового насоса. На глубине температура грунта составляет около $+7^{\circ}\text{C}$, поэтому данный вид коллектора наиболее эффективен (рис. 4, б).

Водный коллектор.

Источником тепла могут быть поверхностные реки, озера. Если рядом протекает река или есть глубокое озеро, трубы можно уложить на дно. Этот способ устройства коллектора является наименее затратным (рис. 4, в).

Использование тепла атмосферного воздуха. Окружающий воздух особенно легко использовать в качестве источника тепла, он имеется везде и в неограниченном количестве. Одним из преимуществ при выборе данного теплового насоса является простая схема монтажа с уже работающим котлом, который, например, использует дизельное топливо. Тепловой насос работает продуктивно до температуры -20°C , после чего переходит на управление дизельным котлом (рис. 4, г).

Сравнительный анализ инженерных систем

В настоящее время доступны различные источники тепловой энергии – нефть, уголь, газ, дерево и электричество. У всех имеются свои преимущества, но, учитывая такие критерии, как низкая стоимость капитальных вложений, хорошая управляемость, практически абсолютная чистота, большой комфорт и до-

вольно небольшие эксплуатационные расходы, можно прийти к выводу, что отопление с использованием теплового насоса является оптимальным вариантом.

Рассмотрим три типа отопительных установок: газовый котел, электрический котел и тепловой насос.

Сравнительные характеристики отопительных установок представлены в табл. 1.

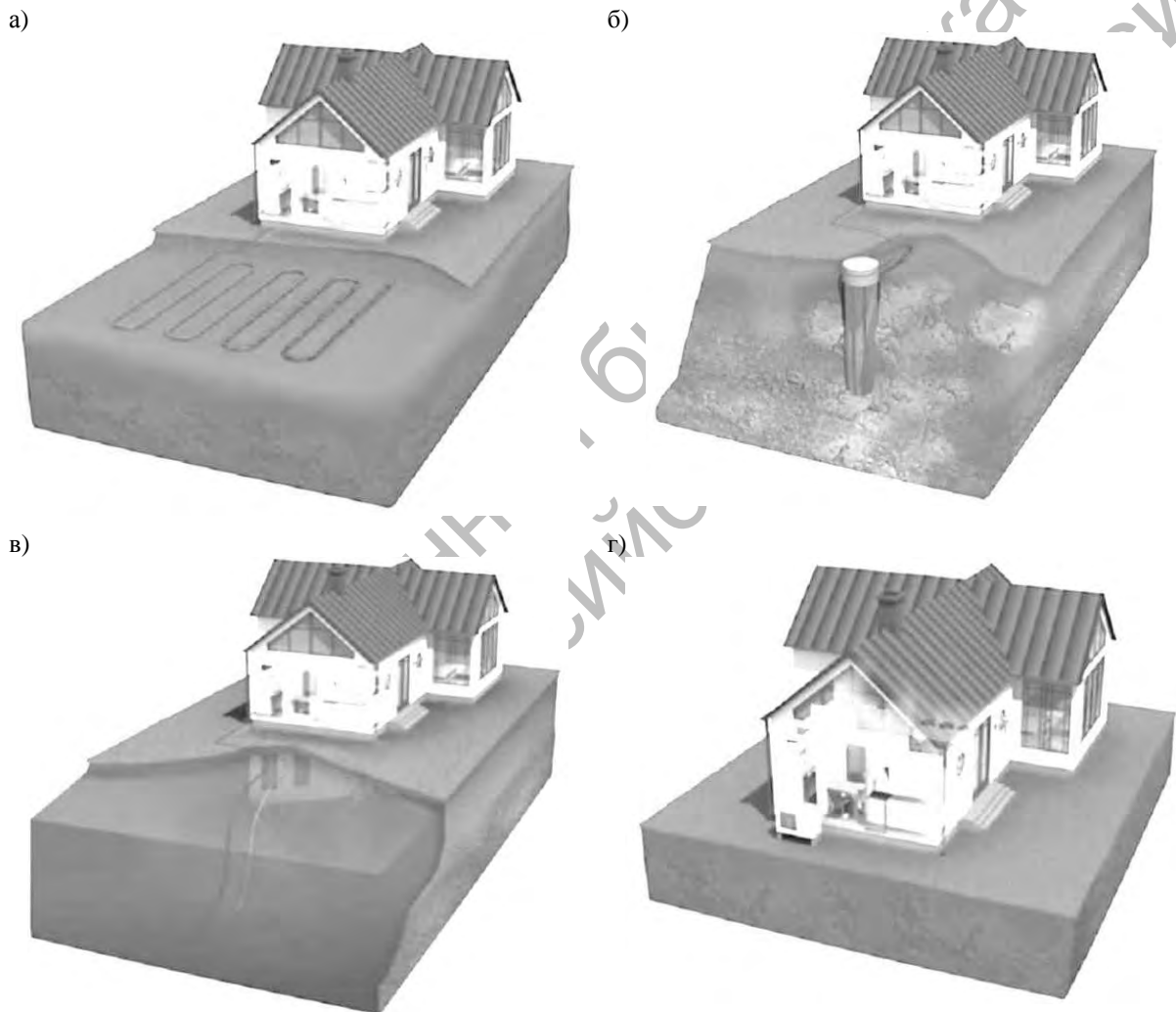


Рис. 4. Типы коллектора: а – горизонтальный; б – вертикальный; в – водный; г – использование тепла атмосферного воздуха

Системы с использованием тепловых насосов находятся среди наиболее эффективных систем отопления, имеющих в настоящее время.

Следует учитывать не только низ-

кие затраты исключительно на получение тепловой энергии, но и экономию средств на содержание и техническое обслуживание системы отопления.

В табл. 2 приведен примерный рас-

чет затрат на отопление отдельного дома со следующими характеристиками:

- стандартное здание с низкими энергетическими затратами, с площадью отапливаемых помещений 240 м²;
- система бытового горячего водоснабжения;
- самая низкая температура наружного воздуха –14 °С;
- котел находится в работе примерно половину общего времени, а отопительный сезон длится 6 месяцев.

Проанализированы данные табл. 2. Подсчитано, что срок окупаемости теплового насоса по отношению к другим источникам получения тепла составляет от 3 до 7 лет, а срок службы до капитального ремонта системы от 15 до 20

лет.

Помимо этого, цены на энергоносители имеют устойчивую тенденцию к росту, и, соответственно, с удорожанием энергоносителей срок окупаемости будет ещё меньшим. Кроме затрат на топливо, существуют и другие эксплуатационные расходы, в частности, затраты на сервисное обслуживание. Минимальные затраты будут при использовании электрического отопления и отопления с тепловым насосом, а максимальные – при использовании газа. Срок службы скважины или грунтового коллектора составляет не менее 50 лет, а в тепловом насосе изнашиваемой частью остаётся только компрессор со сроком службы не менее 15 лет.

Табл. 1. Сравнительные характеристики отопительных установок

Технические характеристики	Способ обогрева помещений		
	Газовый котел	Электрический котел	Тепловой насос
Стоимость оборудования	Средняя	Низкая	Высокая
Отапливаемая площадь, м ²	300	300	300
Мощность установки, кВт	20	20	20
Площадь котельной, м ²	6	3	6
Расход электрической энергии, кВт/ч	2,5	22	3,3
Источник тепловой энергии	Газ	Электрический ток	Тепло земли, электрический ток
Расход энергоносителя в год	8500 м ³	115000 кВт	Энергия земли – бесплатно
Срок службы	15...20 лет	3...8 лет	До 50 лет
Пожароопасность	Опасен (постоянный огонь)	Опасен	Безопасен
Взрывоопасность	Опасен	Опасен	Безопасен
Уровень экологической опасности	Вреден (выделяет СО и NO _x)	Безвреден	Безвреден
Вентиляция	Необходима	Не нужна	Не нужна
Обслуживание	Регулярный осмотр	Периодический осмотр	Периодический осмотр
Надежность	Высокая	Высокая	Очень высокая
Автономность при отсутствии снабжения энергоносителями	Не обеспечивает	Не обеспечивает	Обеспечивает при наличии резервного электрогенератора 3,3 кВт
Возможность охлаждения помещения	Не обеспечивает	Не обеспечивает	Обеспечивает
Окупаемость	Не окупается	Не окупается	Окупается за 3...5 лет

Табл. 2. Капитальные и эксплуатационные затраты на устройство системы отопления

Затраты	Газовый котел	Электрический котел	Тепловой насос
Тепловая мощность, кВт	24	24	14
Стоимость энергоносителя, евро	15/100 м ³	0,05/1 кВт	0,05/1 кВт
Стоимость оборудования, евро	3 000	800	11 600
Установка и монтаж, евро	10 000	300	5 500
Разрешительная документация	+	-	-
Эксплуатационные затраты в год, евро	750	2 000	200
Обслуживание, евро	1 000	0	0
Итого за год, евро	14 750	3 100	17 300
Расходы за 5 лет, евро	8 750	10 000	1000
Итого расходы за 5 лет, евро	21 750	11 100	18 100

Выводы

Применение тепловых насосов в настоящее время рассматривается как альтернативное теплоснабжение. Однако анализ показывает, что нетрадиционное теплоснабжение имеет все шансы стать традиционным и даже потеснить самые популярные на сегодняшний день автономные системы обогрева.

Из сравнительных характеристик систем теплоснабжения можно сделать следующие выводы.

1. Уже на данный момент тепловые насосы являются более экономич-

ными, чем котлы на дизельном топливе или электричестве. В ближайшем будущем, когда цены на энергоносители сравняются с европейскими, тепловые насосы станут бесспорными лидерами.

2. Тепловой насос – абсолютно экологически безвредный источник теплоснабжения, пожаро- и взрывобезопасный.

3. Поскольку тепловые насосы не используют в своей работе топливо, то и стоимость их эксплуатации не будет зависеть от изменения цен на энергоносители.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Васильев, Г. П. Использование низкопотенциальной тепловой энергии земли в теплонасосных системах / Г. П. Васильев, Н. В. Шилкин // АВОК. – 2003. – № 2. – С. 52–60.
2. Сканапи, А. Н. Отопление: учебник / А. Н. Сканапи, Л. М. Махов. – М. : АСВ, 2002. – 576 с. : ил.
3. Руководство по применению тепловых насосов с использованием вторичных энергетических ресурсов и нетрадиционных возобновляемых источников энергии. – М. : НИИЦ, 2001. – 17 с.
4. Васильев, Г. П. Энергоэффективные здания с теплонасосными системами теплоснабжения / Г. П. Васильев // ЖКХ. – 2002. – № 12. – Ч. 1. – С. 73–78.
5. Теплоснабжение и вентиляция. Курсовое и дипломное проектирование / Под ред. проф. Б. М. Хрусталева. – 2-е изд., испр. и доп. – М. : АСВ, 2005. – 576 с. : ил.

Статья сдана в редакцию 6 февраля 2012 года

Елена Владимировна Горбенкова, ст. преподаватель, Белорусско-Российский университет. Тел.: 8-029-359-27-29.

Анна Владимировна Папсуева, студентка, Белорусско-Российский университет.

Yelena Vladimirovna Gorbenkova, senior lecturer, Belarusian-Russian University. Tel.: 8-029-359-27-29.

Anna Vladimirovna Papsueva, student, Belarusian-Russian University.