

УДК 621.577

К. А. Токменинов, канд. техн. наук, доц., В. А. Широченко, канд. техн. наук, доц.**ПЕРСПЕКТИВЫ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ**

В работе даны маркетинговый и технико-экономический анализ эффективности применения, описание и принципы работы перспективного энергосберегающего оборудования – тепловых насосов. Эффективность практического использования иллюстрирована на примере применения тепловых насосов в РУП «Могилевэнерго».

Введение

Проблема энергосбережения становится с каждым годом все более актуальной. В структуре себестоимости производства электрической и тепловой энергии стоимость топлива достигает 70 % и продолжает возрастать в связи с подорожанием газа. Поэтому вопросам получения электрической и тепловой энергии с использованием альтернативных источников придается особое значение.

По прогнозам Мирового энергетического комитета (МИРЭК), к 2020 г. в развитых странах мира теплоснабжение будет осуществляться с помощью тепловых насосов.

Тепловые насосы идут на смену отопительным котлам, потому что ис-

пользуют неиссякаемый источник тепла – энергию солнца, поглощенную землей, водой и воздухом. Они компактны, просты в монтаже и пусконаладке, при эксплуатации требуется лишь периодическая проверка показаний и осмотр. Тепловые насосы нуждаются в малом количестве электроэнергии, потребляют 15...20 % энергии по сравнению с вырабатываемой. При отоплении электричеством выход тепловой мощности – 1 кВт на 1 кВт затраченной электроэнергии. Тепловой насос дает 3 кВт тепловой мощности при затрате 1 кВт электроэнергии.

В табл. 1 представлены данные по использованию тепловых насосов в развитых странах.

Табл. 1. Мировой уровень использования низкопотенциальной тепловой энергии земли посредством тепловых насосов

Страна	Установленная мощность оборудования, МВт	Произведенная энергия, ТДж/г.
1	2	3
Австралия	24,0	57,6
Австрия	228,0	1094,0
Болгария	13,3	162,0
Великобритания	0,6	2,7
Венгрия	3,8	20,2
Германия	344,0	1149,0
Греция	0,4	3,1
Дания	3,0	20,8
Исландия	4,0	20,0
Италия	1,2	6,4

Окончание табл. 1

1	2	3
Канада	360,0	891,0
Литва	21,0	598,8
Нидерланды	10,8	57,4
Норвегия	6,0	31,9
Польша	26,2	108,3
Россия	1,2	11,5
Сербия	6,0	40,0
Словакия	1,4	12,1
Словения	2,6	46,8
США	4 800,0	12 000,0
Турция	0,5	4,0
Финляндия	80,5	484,0
Франция	48,0	255,0
Чехия	8,0	38,2
Япония	3,9	64,0
Всего	6 675,4	23 268,9

Основные преимущества тепловых насосов (ТН) перед другими энергоисточниками.

1. *Экономичность.* Тепловой насос использует введенную в него энергию эффективнее любых котлов, сжигающих топливо. Между собой тепловые насосы сравнивают по коэффициенту преобразования тепла ϕ (коэффициенту трансформации тепла, мощности, преобразования температур). Коэффициент трансформации тепла показывает отношение получаемого тепла к затраченной энергии. Например, $\phi = 3,5$ означает, что, подведя к машине 1 кВт, на выходе получают 3,5 кВт тепловой мощности. В среднем 60...75 % потребностей теплоснабжения ТН обеспечивает бесплатно.

2. *Повсеместность применения.* Источник рассеянного тепла можно обнаружить в любом уголке планеты. Земля и воздух найдутся на любом участке, чтобы выполнять функции отопления бесперебойно и независимо от капризов погоды, поставщиков дизельного топли-

ва или падения давления газа в сети. Даже отсутствие нужных 2...3 кВт электрической мощности не помеха. Для привода компрессора в некоторых моделях используют дизельные или бензиновые двигатели.

3. *Экологичность.* Агрегат не сжигает топливо, значит, не образуются вредные окислы типа CO , CO_2 , SO_2 , PbO_2 . Потому вокруг помещения на почве нет следов серной, азотистой, фосфорной кислот и бензольных соединений. Применяемые же в тепловых насосах фреоны не содержат хлоруглеродов и озонобезопасны.

4. *Универсальность.* Тепловые насосы обладают свойством обратимости (реверсивности). Они «умеют» брать тепло из воздуха дома, охлаждая его. Летом избыточная энергия иногда отводится на подогрев бассейна.

5. *Безопасность.* Агрегаты практически взрыво- и пожаробезопасны. Нет топлива, нет открытого огня, опасных газов или смесей. Ни одна деталь

не нагревается до температур, способных вызвать воспламенение горючих материалов. Остановки агрегата не приводят к поломкам или к замерзанию жидкостей.

Основные характеристики тепловых насосов

Тепловые насосы подразделяются на два типа:

1) в качестве источника тепла используется энергия земли – недра (скважина), грунт (земляной коллектор, проложенный на глубине промерзания грунта) или вода (расположенные поблизости речка или водоём);

2) в качестве источника энергии используют тепло переработанного теплого воздуха внутри помещения.

Насосы первого и второго типа делятся на тепловые насосы для отопления и тепловые насосы для отопления и приготовления горячей воды для хозяйственно-бытовых нужд.

В табл. 2 указаны приблизительные данные (площадь помещения, необходимая мощность теплового насоса

и возможные альтернативные источники тепла). Точный расчет должен учитывать особенности здания, например, качество утепления, требуемую температуру внутри помещения, особенности геологии и т. д.

Для конкретных условий, для каждого проекта по определенной программе считаются тепловые потери здания, выбирается наиболее приемлемая система отопления (радиаторы, теплый пол, уже имеющаяся система отопления) и выбирается тип и мощность теплового насоса. В затратную часть, помимо самого насоса, необходимо включать расходы на бурение скважины или рытье коллектора на глубину промерзания грунта 1,5...2 м, прокладку энергетического коллектора (длина трубы равна длине альтернативного источника тепла плюс 5 % длины на монтаж), стоимость накопительного бака (для каждой модели емкость баков разная) и работы по монтажу. Отдельно следует выбрать схему отопления и рассчитать стоимость её изготовления.

Табл. 2. Приблизительные данные

Отапливаемая площадь, м ²	Тепловая мощность теплового насоса, кВт	Альтернативный источник тепла		
		Скважина, м	Земляной коллектор, м	Водный коллектор, м
80...120	4,5	60	250	250
130...180	6	90	350	350
200...250	8	110	400	400
250...300	10	140	450	450
300...350	12	170	500	500
350...400	14	195	600	600
400...500	16	2×110	2×350	2×350

Тепловой насос – это преобразованный холодильник. Устройство (испаритель, компрессор, конденсатор и дросселирующее устройство), цикл работы, размер и формы холодильника и насоса практически одинаковы, разнятся только параметры настройки. Холо-

дильник работает, выкачивая тепло наружу. Тепловой насос нагнетает тепло с улицы или же из почвы в помещение.

На рис. 1 приведена упрощенная схема принципиального устройства пароконденсационных тепловых насосов.

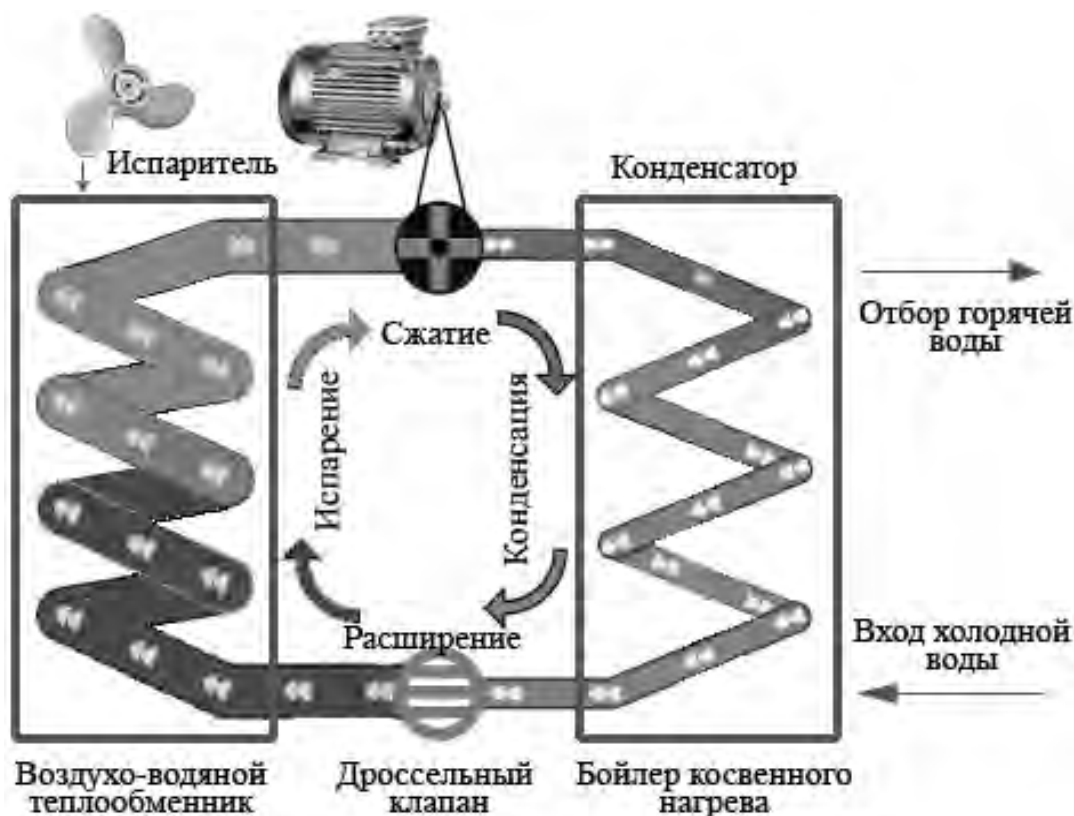


Рис. 1. Схема работы теплового насоса

В испаритель насоса поступает вода из низкопотенциального источника тепла. Точка кипения для разных жидкостей меняется посредством давления: чем выше давление, тем выше точка кипения. Вода закипает при нормальном давлении при температуре $+100\text{ }^{\circ}\text{C}$. При повышении давления вдвое температура кипения воды достигает $+120\text{ }^{\circ}\text{C}$, а при уменьшении давления в 2 раза вода закипает при $+80\text{ }^{\circ}\text{C}$. Хладагент в теплонасосе имеет ту же тенденцию – его температура кипения изменяется при изменении давления. Точка кипения хладагента лежит низко, приблизительно $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ при атмосферном давлении, поэтому может использоваться даже с низкотемпературным тепловым источником. Поэтому, даже когда совсем холодную воду прогоняют насосом через каналы испарителя, жидкий хладагент все равно испаряется. Далее пар втяги-

вается в компрессор и там сжимается. При этом его температура сильно увеличивается (до $90\dots 100\text{ }^{\circ}\text{C}$). Затем горячий и сжатый хладагент направляется в теплообменник конденсатора, охлаждаемый водой или воздухом. На холодных поверхностях пар конденсируется, превращаясь в жидкость, а его тепло передается охлаждающей среде. Воду используют в системе отопления или горячего водоснабжения, а хладагент, теперь снова жидкий, направляется на дросселирующий вентиль, проходя через который, он теряет давление и температуру, а затем опять возвращается в испаритель. Цикл завершился. Он будет автоматически повторяться, пока работает компрессор. Конструкция теплового насоса исключает попадание хладагента в водяные магистрали систем отопления, горячего водоснабжения и в окружающую среду. Описанная схема ра-

боты относятся к агрегатам так называемого парокompрессионного цикла. Такие машины используют в бытовых установках. Помимо них, существуют также насосы абсорбционные, термоэлектрические, эжекторные.

Самым важным при разработке системы теплоснабжения является первичный выбор теплового насоса. Успех дела зависит от того, насколько грамотно будут согласованы параметры самого теплового насоса, системы сбора низкопотенциального тепла (первичного контура) и системы отопления помещения (вторичного контура).

Тепловые насосы рекомендуются

применять для низкотемпературных систем отопления (Европа перешла на них при использовании любых видов энергии). Наиболее выгодные варианты – напольное водяное или воздушное отопление: теплоноситель не нагревают выше 35 °С по медицинским соображениям, а дом тщательно теплоизолируют, сведя потери с привычного российского уровня 100 Вт/м² до «цивилизованных» 50...60 Вт/м².

В табл. 3 представлена сравнительная характеристика эксплуатационных расходов для отопительного оборудования, использующего различные источники энергии.

Табл. 3. Эксплуатационные расходы (приведены на 180 м² отапливаемой площади)

Наименование показателя	Газовое оборудование	Дизельное оборудование	Электрическое оборудование	Тепловой насос
Количество рабочих часов за сезон	1700	1700	1700	1700
Потребление в час	4 м ³	4 кг	18 кВт	3 кВт
Стоимость энергоносителей	215 р. за 1 м ³ газа	1610 р. за 1 л топлива	226 р. за 1 кВт·ч	226 р. за 1 кВт·ч
Годовые затраты на отопление, р.	1 462 000	10 948 000	6 915 600	1 152 600
Стоимость сервисного обслуживания, долл. США	300	300	300	100
Гарантия, обычно предоставляемая производителями, г.	1	1	1	3

Тепловые насосы позволяют нагревать воду для систем отопления и горячего водоснабжения до 60...70 °С.

Следует отметить, что в Германии, которая имеет самую большую суммарную мощность тепловых насосов в Европе, широкое применение имеют тепловые насосы с использованием скважин в качестве источников тепла. Глубина скважин в среднем 36...40 м, что обеспечивает перепад температур 4...5 °С.

Стоимость насоса мощностью 15 кВт с проектными работами, оборудовани-

ем скважин, монтажом составляет 25...30 тыс. евро. Срок окупаемости – 3...7 лет.

Некоторые экономические оценки эффективности использования тепловых насосов

Одним из основных направлений реализации «Целевой программы обеспечения в Республике Беларусь не менее 25 % объема производства электрической и тепловой энергии за счет использования местных видов топлива и аль-

тернативных источников энергии на период до 2012 г.» является снижение затрат, связанных с использованием электрической и тепловой энергии. В связи с этим в районных энергетических инспекциях (РЭИ) Республики Беларусь запрещено использование электродвигателей для отопления и горячего водоснабжения. В качестве альтернативы предложен переход на местные виды топлива, прежде всего на дрова.

В РУП «Могилевэнерго» рассмотрен вариант использования тепловых насосов для указанных целей. В качест-

ве объекта исследований взята база Шкловской РЭИ.

Данные о потреблении электрической энергии для отопления по Шкловской РЭИ за осенне-зимний период (ОЗП) 2006...2007 гг. отражены в табл. 4.

В целях расчета окупаемости проекта целесообразно применять утвержденные нормы расхода электроэнергии на отопление РЭИ филиала Энергонадзора, т. к. в данных нормах учтены социальные стандарты по поддержанию температуры в здании (18°C) (табл. 5).

Табл. 4. Потребление электрической энергии для отопления здания инспекции

Месяц	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Январь	Февраль	Март	Апрель	За весь ОЗП
Количество потребляемой энергии, тыс. кВт·ч	0,378	1,810	1,925	2,338	2,030	1,748	1,149	11,378

Табл. 5. Нормы расхода электроэнергии на отопление (на примере Быховской, Шкловской, Хотимской и Кировской РЭИ)

Отопительный период	K_t	$h, \text{ч}$	Затраты на отопление, кВт·ч	Суммарные затраты на горячее водоснабжение, кВт·ч
Январь	0,61	496	4538	18154
Февраль	0,52	448	3494	13978
Март	0,44	496	3274	13094
I квартал	—	—	11306	45226
Апрель	0,31	240	1116	4464
II квартал	—	—	1116	4464
Октябрь	0,26	248	967	3869
Ноябрь	0,45	480	3240	12960
Декабрь	0,52	496	3869	15475
IV квартал	—	—	8076	32304
Год	—	—	20498	81994

В связи с тем, что в указанном административном здании нет аккумуляторного бака, электрическая энергия

используется для отопления по двум зонам суток с дневным и ночным тарифами, прямо пропорционально их дли-

тельности (с 6.00 до 23.00 ч и с 23.00 до 6.00 ч соответственно). На 2008 г. дневной тариф – 730,5 р. за 1 кВт·ч, в ночное время стоимость электроэнергии – 146 р. за 1 кВт·ч.

Установка теплового насоса позволит снизить потребление электрической энергии в 2,88 раза (с учетом проведения термореновации здания, а также с учетом сохранения действующего электрокотла в качестве пикового догревателя). В этом случае потребление электроэнергии составит 5,2 кВт ($15/5,2 = 2,88$), но стоимость электрической энергии будет рассчитываться по общему тарифу.

В расчете чистого денежного потока были учтены эксплуатационные затраты в размере 100 долл. США в год. Также расчет производился из следующих условий:

– ориентировочно установка ТН предполагается в 2009...2010 гг.;

– учтена амортизация оборудования с включением в чистый доход по проекту;

– рост тарифов на электроэнергию предусмотрен в среднем в размере 10 % годовых до 2016 г. (не выше темпов роста социально-экономического развития Республики Беларусь), далее – не более 2 % (с учетом введения в энергетический баланс страны Белорусской атомной станции).

Из проведенного расчета получены следующие результаты:

1) простой срок окупаемости проекта 7 лет;

2) динамический срок окупаемости проекта 11 лет;

3) внутренняя норма доходности 11 %;

4) индекс рентабельности 1,041.

Исходя из указанных данных проект является окупаемым и может быть принят для реализации.

В результате анализа характеристик тепловых насосов, их достоинств и не-

достатков можно сделать вывод о том, что использование такого вида получения тепловой энергии является хорошей альтернативой электродотельным и котельным на местных видах топлива. Тепловые насосы обладают целым рядом преимуществ: безопасностью, экологичностью, эффективностью.

Поэтому с учетом проведенных исследований в качестве пилотного проекта на базе РУП «Могилевэнерго» в 2009...2010 гг. предлагаем выбрать тепловой насос МЕС-6ТВ (ООО «Мекмастер Ижевск») тепловой мощностью 8 кВт с устройством вертикального коллектора для отбора из грунта низкопотенциального тепла без демонтажа существующего электрокотла и с сохранением его в качестве пикового догревателя.

Заключение

1. Тепловые насосы рекомендуется применять для низкотемпературных систем отопления. В среднем капитальные вложения в тепловой насос и первоначальный монтаж системы сбора тепла составляют 1770...3590 тыс. р. за 1 кВт мощности.

2. Срок окупаемости тепловых насосов составляет 3...7 лет, срок службы оборудования – 30 лет, первичного контура – 50 лет. Экономия от тепловых насосов возникает за счет уменьшенных расходов на энергоносители, амортизацию и сервисное обслуживание.

3. Применение теплового насоса в 1,2...2,5 раза выгоднее, чем самой эффективной (газовой) котельной, т. к. газовое отопительное оборудование требует постоянной смены горелок с периодичностью в 3...5 лет, а стоимость одной горелки составляет 1000...1500 долл. США. Таким образом, отопительные тепловые насосы – надежные, безопасные, экономичные и долговечные отопительные системы.

4. В РУП «Могилевэнерго» разработано технико-экономическое обоснование эффективности использования тепловых насосов для районных инспекций Энергонадзора и районов электросетей для дальнейшего практического внедрения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Малюшенко, В. В.** Насосное оборудование тепловых электростанций / В. В. Малюшенко, А. К. Михайлов. – М. : Энергия, 1985.
2. **Афанасьев, В. В.** О возможности использования тепловых насосов / В. В. Афанасьев, В. Т. Ильюшенко // Холодильная техника. – 1999. – № 9.

Белорусско-Российский университет
Материал поступил 03.12.2009

К. А. Tokmeninov, V. A. Shirochenko
Prospects and efficiency of heat pumps using

Marketing, technical and economical analysis of using of prospective energy-efficient equipment, i. e. heat pumps is given in the article. Description and principles of heat-pumps work is described. Efficiency of practical use has been illustrated on the example of heat-pumps used in the Republican Unitarian Enterprise «Mogilevenergo».