

1. ТЕПЛОВЫЕ НАСОСЫ И ОБЛАСТЬ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ

1.1. ПРИМЕНЕНИЕ ТЕПЛОНАСОСНЫХ УСТАНОВОК В СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Первая схема теплового насоса, названная «умножителем тепла», предложена Кельвиным в 1852 г. Патент на технологию тепловых насосов выдан в 1912 г. в Швейцарии. В 20-х годах XX в. в Англии была создана первая теплонасосная установка для отопления и горячего водоснабжения, использующая теплоту окружающего воздуха. Теплонасосная установка, установленная в 30-е годы XX в. в здании энергетической компании в штате Коннектикут (США) работает до сих пор. В Европе первая крупная теплонасосная установка построена в Цюрихе в 1938 - 1939 гг, она имела мощность 175 кВт, работала на теплоте речной воды и вырабатывала горячую воду с температурой 60 °С. Для покрытия пиковой нагрузки в системе имелся электронагреватель, а в летнее время установка работала на охлаждение. Интенсивный рост производства тепловых насосов произошел во время энергетических кризисов 1973 и 1979 г. Объем использования теплонасосных установок в настоящее время представлен в табл. 1 и 2.

Высокое значение коэффициента преобразования теплоты μ позволяет обеспечивать теплоснабжение с минимальными затратами первичной энергии. Согласно работе [1], применение ТНУ в системах теплоснабжения более выгодно, чем использование ТЭЦ и индивидуальных котельных. Эксплуатационные расходы на теплоснабжение с применением разных способов приведены в табл. 3.

По прогнозам Мирового энергетического комитета (МИРЭК) к 2020 г. в передовых странах доля отопления и горячего водоснабжения тепловыми насосами составит 75%.

Таблица 1

Количество эксплуатируемых тепловых насосов [1–3]

Страна	Количество эксплуатируемых теплонасосных установок, млн	Количество производимых теплонасосных установок, млн в год
США	25 (около 60% в жилом фонде)	1 (в том числе 0,5 на экспорт)
Япония	5	0,5
Китай	18	1
Европа	4 в 1996 г. (около 70% в жилом фонде)	Нет данных

Таблица 2

Мировой уровень использования тепловых насосов [4]

Страна	Установленная мощность оборудования, МВт	Произведенная энергия, ТДж/год	Страна	Установленная мощность оборудования, МВт	Произведенная энергия, ТДж/год
Австралия	24,0	57,6	Польша	26,2	108,3
Австрия	228,0	1094,0	Россия	1,2	11,5
Болгария	13,3	162,0	Сербия	6,0	40,0
Великобритания	0,6	2,7	Словакия	1,4	12,1
Венгрия	3,8	20,2	Словения	2,6	46,8
Германия	344,0	1149,0	США	4 800,0	12 000,0
Греция	0,4	3,1	Турция	0,5	4,0
Дания	3,0	20,8	Финляндия	80,5	484,0
Исландия	4,0	20,0	Франция	48,0	255,0
Италия	1,2	6,4	Чехия	8,0	38,2
Канада	360,0	891,0	Швейцария	300,0	1 962,0
Литва	21,0	598,8	Швеция	377,0	4 128,0
Нидерланды	10,8	57,4	Япония	3,9	64,0
Норвегия	6,0	31,9	Всего:	6 675,4	23 268,9

Таблица 3

Эксплуатационные расходы на теплоснабжение*

Вид отопления	Вид и единица энергии	Стоимость единицы энергии, руб.	Расход единиц энергии в час	Годовые затраты, руб.	Примечание
Электрическое	Электричество, кВт	1,5	15	38 250	–
Индивидуальный газовый котел	Природный газ, м ³	2,36 (1.01.09 г.) 3,00 (1.10.09 г.)	2,2	8 830 11 225	КПД котла 75%
Централизованное теплоснабжение	Теплота, Гкал	853,3	0,0129	18 700	–
Тепловой насос	Электричество, кВт	1,5	4,3	10 970	$\mu = 3,5$

* Отапливаемая площадь 180 м², отопительная мощность 15 кВт, 1700 рабочих часов в год.

В настоящее время Министерством энергетики РФ принята программа развития нетрадиционной энергетики, в том числе 30 крупных проектов использования теплонасосных установок ТНУ в жилищно-коммунальном секторе.

Применение тепловых насосов для индивидуального теплоснабжения имеет следующие преимущества:

– тепловые насосы являются установками индивидуального теплоснабжения с исключением протяженных тепловых сетей;

– снижение объема природного первичного топлива, расходуемого на теплоснабжение, примерно в 1,5...2 раза;

– улучшение экологической обстановки в населенных пунктах, так как сжигание топлива в городских котельных заменяется производством электроэнергии за пределами населенных пунктов, с меньшими затратами топлива для выработки электроэнергии, чем при использовании котлов (табл. 4);

– безопасность по сравнению с индивидуальными котельными на газовом топливе;

– меньшие затраты на обслуживание, так как тепловые насосы малой мощности, также как холодильники и кондиционеры, не требуют периодического обслуживания, а для тепловых насосов большой мощности требуется лишь периодический контроль.

Таблица 4

**Вредные выбросы за отопительный сезон (5448 ч)
от различных теплоисточников тепловой мощностью 1,16 МВт [1]**

Наименование выброса, т/г	Угольная котельная	Электрообогрев, газовая котельная	Тепловой насос ($\mu = 3,6$)
SO _x	21,77	38,02	10,56
NO _x	7,62	13,31	3,70
Твердые частицы	5,8	8,89	2,46
Фтористые соединения	0,182	0,313	0,087
Всего	34,65	60,53	16,81

У тепловых насосов в утилизации энергии сбросной низкопотенциальной теплоты промышленных предприятий большая перспектива. Например, количество теплоты, передаваемой в окружающую среду в градирнях омских ТЭЦ, достаточно, чтобы полностью покрывать потребность в теплоснабжении города при температурах наружного воздуха до $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$ [5].

В применении тепловых насосов есть два недостатка. Первый связан с высокой стоимостью оборудования, составляющего до \$200 за 1 кВт тепловой мощности [6], хотя срок их окупаемости составляет 2...3 года. Второй недостаток связан с дешевизной природного топли-

ва в России. Соотношение цены 1 кВт·ч электроэнергии к 1 м³ природного газа в России составляет 0,7...1,2, а в Европе – 0,4...0,6 [7]. Например, в настоящее время 1 кВт·ч электроэнергии на отопительные нужды для населения стоит около 0,70 руб., а 1 м³ природного газа с теплотой сгорания около 32 МДж стоит около 1 руб., что в пересчете на 1 кВт·ч составит 0,12 руб. Такое шестикратное превышение стоимости электроэнергии перед стоимостью газа, конечно, экономически объяснено быть не может. Поэтому в существующих экономических условиях индивидуальное теплоснабжение с применением тепловых насосов по затратам значительно экономичней электрообогрева, но сопоставимо с газовым отоплением. Но при выравнивании цен на энергоносители, что произойдет через некоторое время, применение тепловых насосов станет безусловно выгодным.

Таким образом, использование теплонасосных установок в системах централизованного и индивидуального теплоснабжения является крайне актуальным.

1.2. ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ТЕПЛООВОГО НАСОСА

Тепловой насос – это установка для переноса теплоты от более холодного теплоносителя к более горячему за счет подвода внешней энергии или затраты работы. Тепловые насосы используются для выработки теплоты в системах централизованного и индивидуального отопления и горячего водоснабжения. Они более экономичны и безопасны, чем котлы на газовом или твердом топливе и поэтому являются хорошей альтернативой для систем индивидуального теплоснабжения многоквартирных жилых домов и коттеджей.

Принцип действия и конструкция теплового насоса идентичны холодильной машине и установке для кондиционирования воздуха (кондиционеру), в этих устройствах различна лишь задача: холодильники и кондиционеры используются для охлаждения, а тепловые насосы – для нагрева. Из-за одинаковой конструкции бытовые кондиционеры часто могут выполнять и функции теплового насоса, в так называемом режиме обогрева.

Принцип действия теплового насоса основан на отдаче и поглощении теплоты рабочего агента «хладагента» в цикле при периодическом переходе его из одного состояния в другое.

Тепловые насосы по виду рабочего агента разделяются на три типа: парокомпрессионные, абсорбционные и термоэлектрические.

В парокompрессионных тепловых насосах (рис. 1) используется теплота испарения и конденсации хладагента, которым обычно являются фреоны.

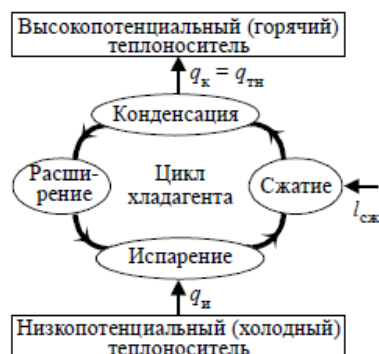


Рис. 1. Цикл парокompрессионного теплового насоса:

q_n – теплота, отдаваемая низкопотенциальным теплоносителем и получаемая хладагентом при его испарении; q_k – теплота, отдаваемая хладагентом при его конденсации и получаемая высокопотенциальным теплоносителем; $l_{сж}$ – работа, необходимая для сжатия хладагента; $q_{тн}$ – тепловая нагрузка теплового насоса

При более высоком давлении температура конденсации (кипения) повышается, поэтому хладагент конденсируется при более высокой температуре, чем испаряется. Поэтому тепловой насос позволяет передавать теплоту от холодного теплоносителя к горячему. При этом он потребляет энергию $l_{сж}$, необходимую для сжатия хладагента, но эта энергия должна быть меньше, чем количество теплоты q_n , получаемое горячим теплоносителем. Эффективность теплового насоса тем выше, чем больше величина q_n превышает работу $l_{сж}$.

Отношение теплоты, переданной горячему теплоносителю, к работе, затрачиваемой на сжатие, называется коэффициентом преобразования теплоты μ :

$$\mu = \frac{q_{тн}}{l_{сж}}.$$

Значение μ должно быть больше 1, чем оно выше тем работа теплового насоса эффективней. При $\mu = 1$ работа теплового насоса теряет смысл, так как электроэнергию, затрачиваемую на сжатие, можно использовать для получения теплоты с помощью намного более дешевых, чем тепловые насосы, электронагревателей. При $\mu < 1$ в тепловом насосе энергии тратится больше, чем производится теплоты.

Компрессионные тепловые насосы являются самыми распространенными.

В абсорбционном тепловом насосе в качестве рабочего тела используется смесь хладагента с его раствором в жидкости, имеющей более высокую температуру кипения. В отличие от чистых веществ растворы обладают способностью абсорбировать пар раствора одного состава жидким раствором другого состава даже в том случае, когда температура жидкости выше температуры пара. Схема абсорбционной установки аналогична схеме идеальной парокомпрессионной установке, только компрессор заменен абсорбционным узлом (рис. 2).

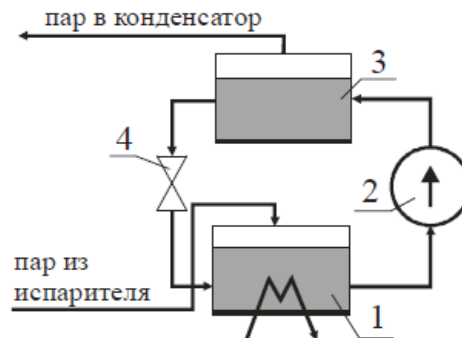


Рис. 2. Абсорбционный узел холодильной установки:

1 – абсорбер; 2 – насос; 3 – генератор пара; 4 – редукционный вентиль

Абсорбционный узел (рис. 2) служит для сжатия хладагента от давления на выходе из испарителя теплонасосной установки p_2 до давления на входе в конденсатор теплонасосной установки p_1 . В абсорбер поступает сухой насыщенный пар хладагента, куда подается также раствор хладагента, имеющий температуру T_1 . Этот раствор абсорбирует хладагент, а выделяющаяся теплота абсорбции отводится холодным теплоносителем. Концентрация хладагента в растворе в процессе абсорбции увеличивается, и следовательно, из абсорбера выходит обогащенный раствор. С помощью насоса, повышающего давление обогащенного раствора от p_2 до p_1 , раствор подается в генератор аммиачного пара, где за счет теплоты, подводимой к раствору от внешнего источника, происходит испарение раствора. Выделяющийся при этом пар практически состоит из хладагента, так как парциальное давление растворителя в газовой фазе при этих температурах ничтожно мало. Обедненный хладагентом раствор, выходящий из генератора пара, дросселируется в редукционном вентиле от давления p_1 до давления p_2 и затем поступает в абсорбер, где он обогащается хладагентом.

Преимущество этого способа сжатия хладагента заключается в том, что для повышения давления используется насос, а не компрессор. Затрата работы на привод насоса пренебрежимо мала по сравнению с затратой работы в компрессоре. Выигрыш в работе, затрачиваемой на привод компрессора, компенсируется затратой теплоты в генераторе пара. Эта теплота отводится затем холодным теплоносителем в абсорбере.

К недостаткам абсорбционных насосов можно отнести наличие двух теплообменников (абсорбера и генератора), к которым соответственно необходимо подводить холодный и горячий теплоноситель. Абсорбционные холодильные установки целесообразно применять в том случае, когда может быть использован отработавший пар или другие теплоносители низкого температурного потенциала.

С развитием компрессоростроения абсорбционные холодильные установки были вытеснены парокомпрессионными установками.

Термоэлектрические тепловые насосы используют эффект возникновения электрического тока при нагреве спаев разнородных металлов и обратный эффект – охлаждение спаев при пропускании через них электрического тока.

Тепловые насосы могут использоваться для следующих целей.

1. Индивидуально-бытовое теплоснабжение жилых и общественных зданий. При этом холодным теплоисточником является теплота окружающей среды (в основном водных источников, земли и, очень редко, воздуха) и теплота геотермальных источников. При использовании теплового насоса экономится электроэнергия или топливо, которых потребляется меньше, чем при использовании электронагревателей или водогрейных котлов.

2. Применение в системах вентиляции для нагрева нового холодного воздуха или получения воды на отопление за счет теплоты теплого воздуха, удаляемого из помещения.

3. Получение горячей воды для технического водоснабжения промышленных предприятий за счет низкопотенциальных тепловых отходов, например, оборотной системы охлаждения компрессоров, систем кондиционирования и охлаждения оборудования, замена градирен и других охлаждающих устройств на оборотных системах водоснабжения предприятий.

4. Подогрев оборотной воды тепловых сетей.

5. Использование для выработки теплоты в системах централизованного теплоснабжения с пиковым догревом подаваемой воды в обычных котельных.

Применение тепловых насосов выгодно:

- при незначительном повышении температурного потенциала;
- при постоянной тепловой нагрузке и температурах теплоносителей;

- при низкой стоимости электроэнергии по сравнению с топливом.

Основным недостатком тепловых насосов является их высокая стоимость.