

УДК 621.11:697.1 (075.8)

Долинский А.А.<sup>1</sup>, Драганов Б.Х.<sup>2</sup><sup>1</sup>Институт технической теплофизики НАН Украины<sup>2</sup>Национальный аграрный университет Украины

## ТЕПЛОВЫЕ НАСОСЫ В СИСТЕМЕ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ЗДАНИЙ

Наведено ексергоекономічний аналіз систем теплопостачання при використанні теплових насосів.

Приведен ексергоекономический анализ систем теплоснабжения при использовании тепловых насосов.

We present the exergy and economical analysis of heat-supplying systems with the use of heat pumps.

$c$  – тариф;  
 $E$  – эксергия;  
 $e$  – удельная эксергия;  
 $f$  – эксергоэкономический фактор;  
 $F$  – топливо;  
 $I$  – стоимостная функция;  
 $K$  – годовые капитальные затраты;  
 $L$  – расход теплоносителя;  
 $P$  – продукт;  
 $Q$  – тепловой поток;  
 $T$  – температура;  
 $W$  – мощность компрессора;  
 $Z$  – эксергоэкономический критерий.  
 $\eta$  – КПД;  
 $\Pi$  – потребление эксергии;  
 $\Pi$  – стоимость;  
 COP – коэффициент преобразования;  
 EER – эффективность всей установки;  
 ГВС – горячее водоснабжение;  
 И – испаритель;  
 КД – конденсатор;  
 КМ – компрессор;

СК – солнечный коллектор;  
 ТН – тепловой насос;  
 ТНУ – теплонасосная установка;  
 ТРВ – терморегулирующий вентиль;  
 ТСО – теплообменник системы отопления;  
 УТК – утилизатор теплоты конденсации.

### Индексы верхние:

СL – капитальный;  
 ОМ – эксплуатационный.

### Индексы нижние:

$D$  – деструкция;  
 $e$  – эксергия;  
 $F$  – топливо;  
 $L$  – потери;  
 $k$  – конденсатор, элемент;  
 $opt$  – оптимальный;  
 $p$  – продукт;  
 $Z$  – дисконтированный;  
 $\Sigma$  – сумма;  
 гор – горячий.  
 $c$  – окружающая среда.

В настоящее время использование теплонасосных технологий для теплоснабжения широко распространено в мире, они включены практически во все энергосберегающие программы, реализуемые за рубежом.

Сегодня в мире эксплуатируется более 130 млн. теплонасосных установок различного назначения. В США теплонасосные установки широко распространены в коммунально-бытовом секторе. Более всего распространены реверсивные воздушно-воздушные теплонасосные установки с

электроприводом для круглогодичного кондиционирования воздуха в помещениях.

Для Швеции характерно использование крупных установок тепловой мощностью более 30 МВт. Источником низкопотенциальной теплоты служат в основном очищенные сточные воды, морская вода, воздушная среда шахт, сбросная вода промышленных предприятий.

Наиболее мощная (320 МВт) Стокгольмская установка, использующая в качестве источника низкопотенциальной теплоты воду Балтийского

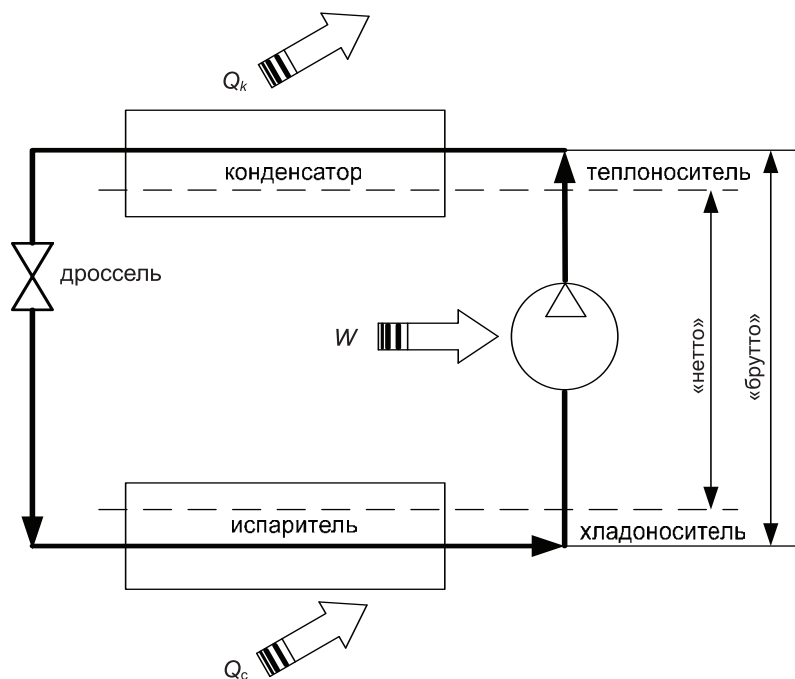


Рис. 1. Принципиальная схема компрессионного теплового насоса:

моря. Швеция первой среди развитых стран Запада намерена принять кардинальные меры в энергетической сфере. Предполагается в течение 15 лет отказаться от нефти, при этом не строить атомные электростанции.

По данным Международного Энергетического агентства, к 2020 году в развитых странах доля отопления и горячего водоснабжения за счет тепловых насосов будет составлять 75%.

В России выпускаются тепловые насосы 41 типоразмера по мощности. Налажен выпуск тепловых насосов в Польше, Австрии, Финляндии. В „Концепции развития топливно-энергетического комплекса Украины на 2006–2030 гг.” прогнозируется, что производство тепловой энергии за счет тепловых насосов к 2030 году будет эквивалентно использованию 20 млн. т ут. в год.

Источниками теплоты для теплового насоса могут быть:

- воздух (наружный, вентиляционный);
- отходящие газы, т.е. вторичные энергоресурсы;
- вода (грунтовая, поверхностная (озера, моря и т.п.), охлаждающая, сбросная, промышленные отходы);
- грунт;

– солнечная радиация.

В основном используют компрессионные тепловые насосы, но находят применение и абсорбционные тепловые насосы [1]. Схема компрессионного теплового насоса приведена на рис. 1.

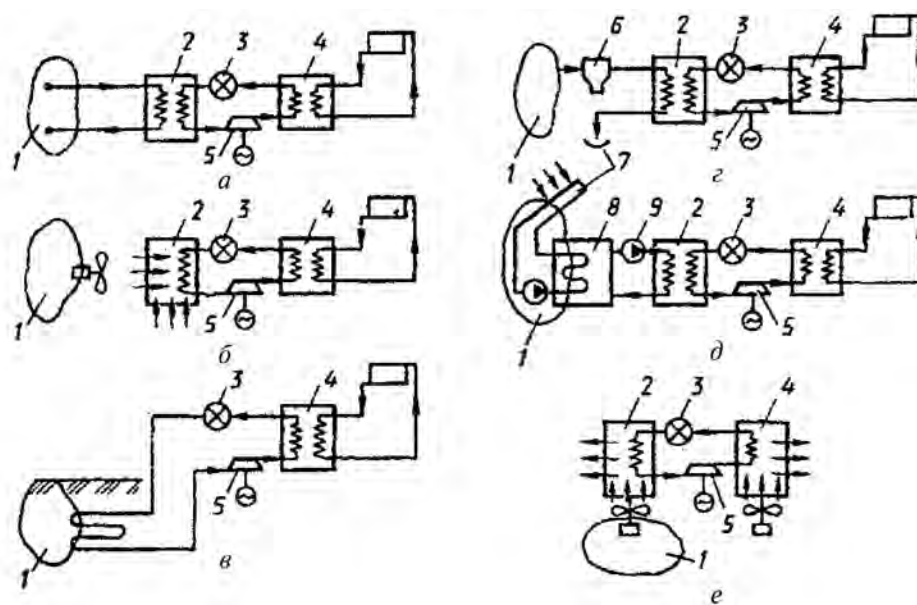
Для оценки энергетической эффективности теплонасосной установки используется коэффициент преобразования COP (coefficient of performance), равный отношению полезного энергетического эффекта к затраченной энергии [1]. Для современных тепловых насосов коэффициент преобразования составляет 2...7, т.е. в среднем ~ 4.

Принципиальные схемы теплоснабжения на основе компрессионных тепловых насосов, использующих низкопотенциальную теплоту окружающей среды, показаны на рис. 2 [2].

Приведем конкретные схемные решения и данные расчета теплонасосных установок, использующих низкопотенциальные источники теплоты [3].

Рассмотрены следующие варианты:

- использование теплоты морской воды (табл. 1, рис. 3 и 4);
- воздуха из шахты (табл. 2, рис. 5 и 6);
- воды из шахты (табл. 3, рис. 6 и 7);
- речной воды (табл. 4, рис. 8 и 9).



**Рис. 2. Принципиальные схемы теплонасосного теплоснабжения, использующие источники низкопотенциальной теплоты окружающей среды:**

*а – воды водоемов (рек, озер, морей); б – удаляемый воздух (для теплоснабжения); в – подземные воды; г – сточные хозяйственные воды; д – солнечная радиация; е – удаляемый воздух (для воздушного отопления); 1 – низкопотенциальный источник теплоты; 2 – испаритель; 3 – регулирующий вентиль; 4 – конденсатор; 5 – компрессор; 6 – отстойник; 7 – гелиоприемник; 8 – аккумулятор; 9 – насос.*

**Табл. 1. Водно-водяной тепловой насос HYDROCIAT LWP 4200B X R134a**

Работа в режиме НАГРЕВА		Работа в режиме ОХЛАЖДЕНИЯ	
<b>Холодопроизводительность</b>	<b>558,4 кВт</b>	<b>Холодопроизводительность</b>	<b>720,6 кВт</b>
<b>EER</b>	<b>1,67</b>	<b>EER</b>	<b>2,62</b>
Холодоноситель	MPG 20%	Холодоноситель	MPG 20%
Вход/Выход	5,0 °C/2,0 °C	Вход/Выход	9,1 °C/5,0 °C
Расход холодоносителя	164,9 м <sup>3</sup> /ч	Расход холодоносителя	156,6 м <sup>3</sup> /ч
Гидр. сопротив. испарителя	46,4 кПа	Гидр. сопротив. испарителя	41,8 кПа
<b>Теплопроизводительность</b>	<b>892,4 кВт</b>	<b>Теплопроизводительность</b>	<b>995,6 кВт</b>
<b>COP</b>	<b>2,67</b>	<b>COP</b>	<b>3,62</b>
Теплоноситель	MPG 20%	Теплоноситель	MPG 20%
Вход/Выход	55,0 °C/60,0 °C	Вход/Выход	44,7 °C/50,0 °C
Расход теплоносителя	156,6 м <sup>3</sup> /ч	Расход теплоносителя	164,9 м <sup>3</sup> /ч
Гидр. сопротив. конденсатора	16,3 кПа	Гидр. сопротив. конденсатора	18,0 кПа
Электрическая мощность	334,0 кВт	Электрическая мощность	275,0 кВт
Электропитание	400В/3Ф 50Гц		

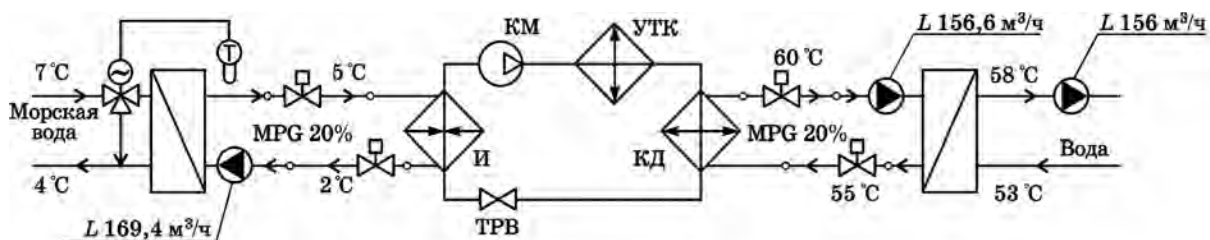


Рис. 3. Принципиальная схема работы теплового насоса в режиме нагрева.

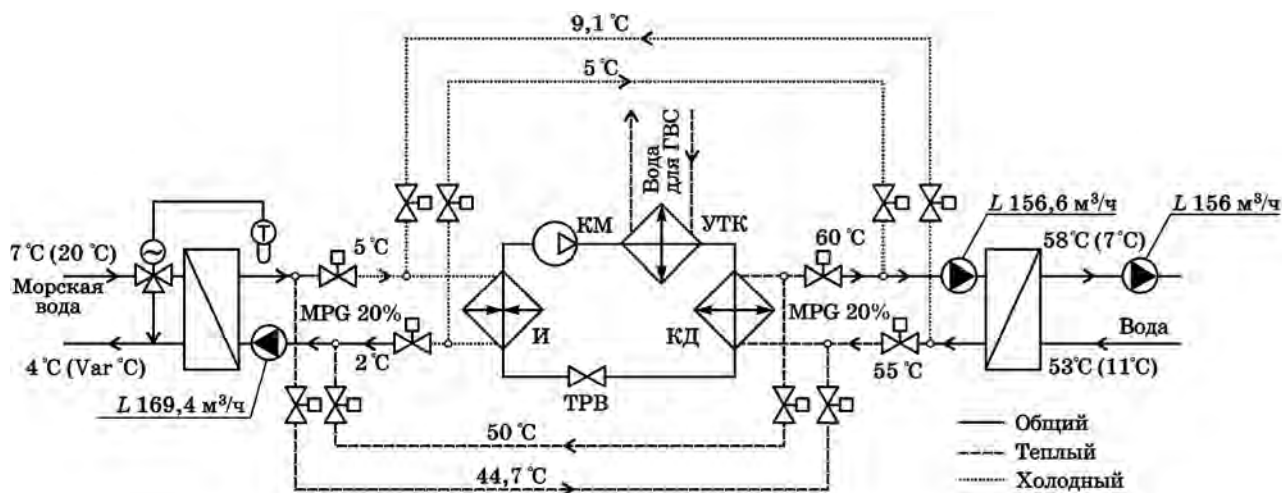


Рис. 4. Принципиальная схема работы теплового насоса в режиме работы на охлаждение.

Табл. 2. Водно-водяной тепловой насос HYDROCIAT LWP 4200B X R134a

Работа в режиме НАГРЕВА	
Холодопроизводительность	492,3x5=2 461,5 кВт
EER	1,49
Холодоноситель	MPG 40%
Вход/Выход	5,0 °C/0,0 °C
Расход холодоносителя	98,2x5=491 м³/ч
Гидр. сопротив. испарителя	17,7 кПа
Теплопроизводительность	822,3x5=4 111,5 кВт
COP	2,49
Теплоноситель	MPG 40%
Вход/Выход	55,0 °C/60,0 °C
Расход теплоносителя	157x5=785 м³/ч
Гидр. сопротив. конденсатора	17,5 кПа
Электрическая мощность	330,0x5=1 650 кВт
Электропитание	400В/3Ф 50Гц

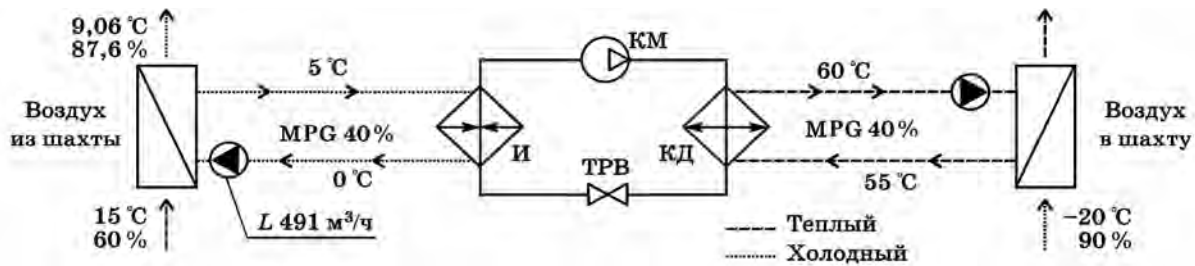


Рис. 5. Принципиальная схема работы теплового насоса в режиме нагрева.

Табл. 3. Водо-водяной тепловой насос HYDROCIAT LWP 3400В X R134a

Работа в режиме НАГРЕВА	
Холодопроизводительность	585,1x2=1 170,2 кВт
EER	2,07
Холодоноситель	Вода
Вход/Выход	15,0 °C/9,9 °C
Расход холодоносителя	98,7x2=197,4 м³/ч
Гидр. сопротив. испарителя	15,6 кПа
Теплопроизводительность	867,9x2=1 735,8 кВт
COP	3,07
Теплоноситель	MPG 40%
Вход/Выход	55,0 °C/60,0 °C
Расход теплоносителя	165,7x2=331,4 м³/ч
Гидр. сопротив. конденсатора	26,2 кПа
Электрическая мощность	282,8x2=565,6 кВт
Электропитание	400В/3Ф 50Гц

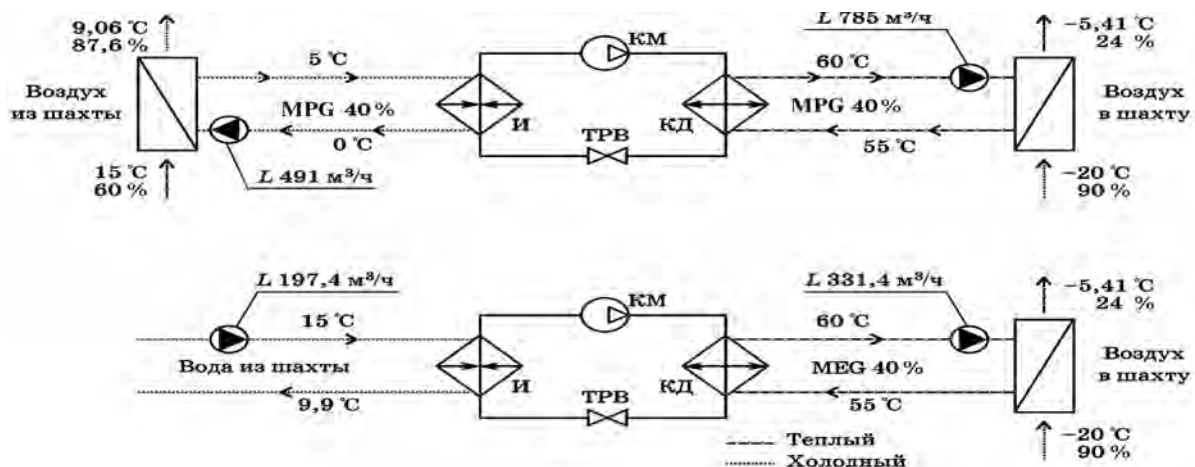


Рис. 6. Работа теплового насоса в режиме нагрева.

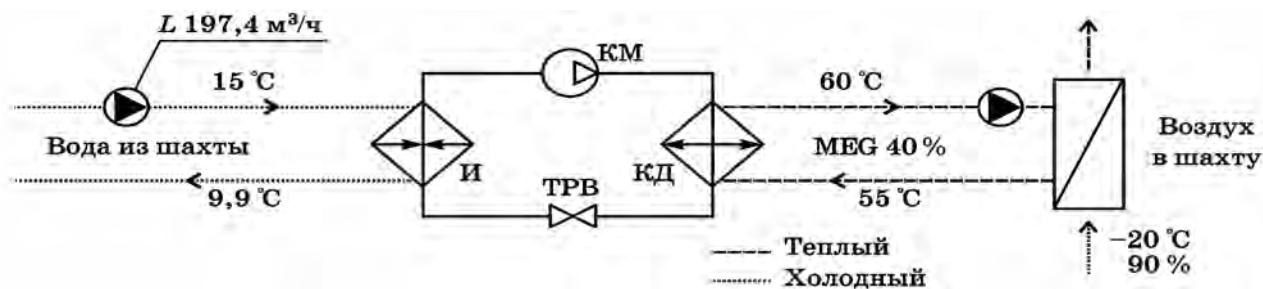


Рис. 7. Принципиальная схема работы теплового насоса в режиме нагрева, с утилизацией откачиваемой воды из шахты.

Табл. 4. Водно-водяной тепловой насос DYNACIAT LGR 753Z R407C

Работа в режиме НАГРЕВА		Работа в режиме ОХЛАЖДЕНИЯ	
Холодопроизводительность	145,7 кВт	Холодопроизводительность	185,7 кВт
EER	2,67	EER	3,23
Холодоноситель	MPG 40%	Холодоноситель	MPG 40%
Вход/Выход	3,0 °C/0,0 °C	Вход/Выход	11,7 °C/7,0 °C
Расход холодоносителя	45,5 м³/ч	Расход холодоносителя	36,5 м³/ч
Гидр. сопротив. испарителя	117,3 кПа	Гидр. сопротив. испарителя	62,5 кПа
Теплопроизводительность	200,3 кВт	Теплопроизводительность	243,1 кВт
COP	3,67	COP	4,23
Теплоноситель	MPG 40%	Теплоноситель	MPG 40%
Вход/Выход	32,0 °C/37,0 °C	Вход/Выход	32,1 °C/37,0 °C
Расход теплоносителя	36,5 м³/ч	Расход теплоносителя	45,5 м³/ч
Гидр. сопротив. конденсатора	52,8 кПа	Гидр. сопротив. конденсатора	80,3 кПа
Электрическая мощность	54,6 кВт	Электрическая мощность	57,4 кВт
Электропитание	400В/3Ф 50Гц		

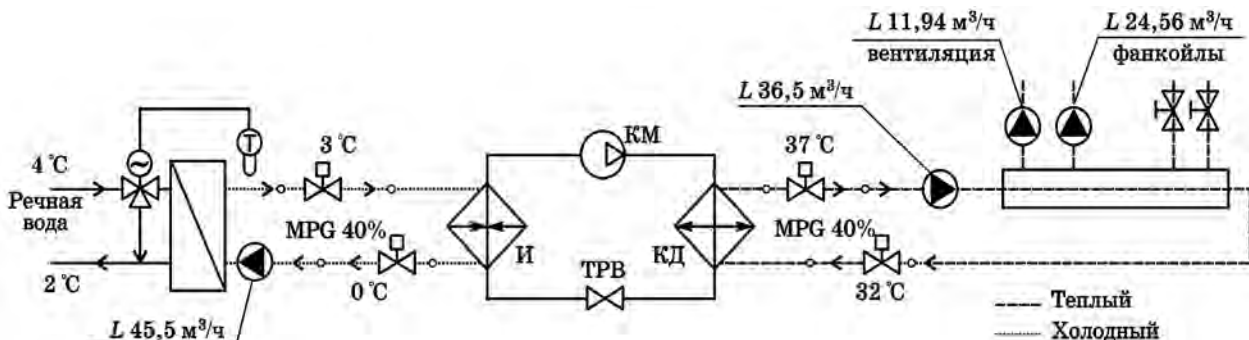


Рис. 8. Принципиальная схема работы теплового насоса в режиме нагрева.

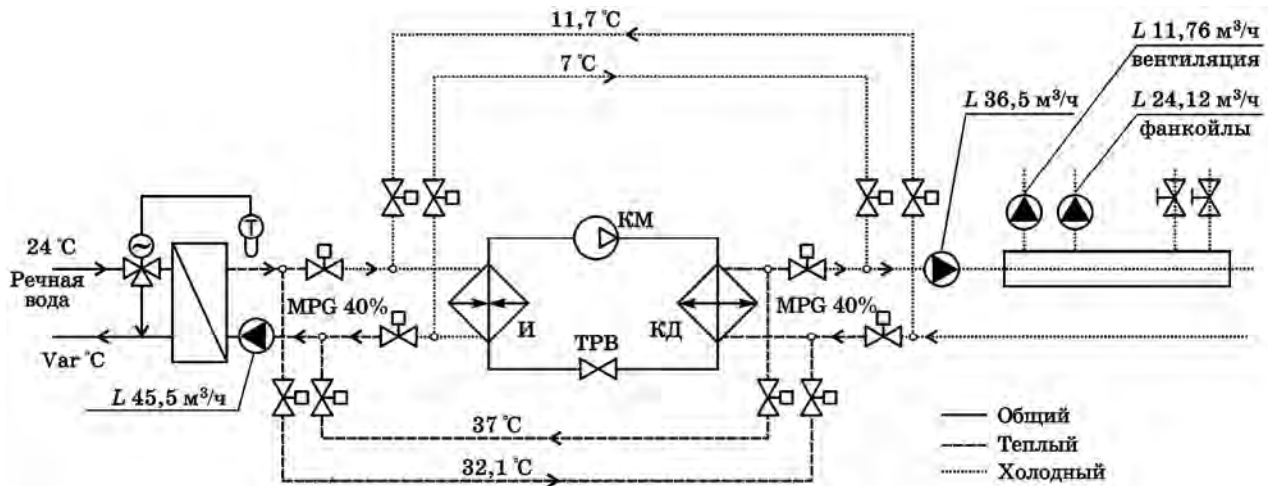


Рис. 9. Принципиальная схема работы теплового насоса в режиме работы на охлаждение.

Табл. 5. Схема теплоснабжения с использованием теплового насоса и котельной

№ п/п	Наименование показателей	г. Винница	часть Святошинского района г. Киева
1	Теплопроизводительность	45 МВт	1,4 МВт
2	Температура горячей воды	55 °С	55 °С
3	Минимальная температура водопроводной воды на входе	5 °С	5 °С
4	Источник низкопотенциальной теплоты	Сточные воды 110 000 м³/сутки	Сточные воды 140 000 м³/сутки
5	Температура сточной воды	12...20 °С	18...20 °С
6	Источник энергии для привода тепловых насосов	Электроэнергия	Электроэнергия

В Институте технической теплофизики НАН Украины совместно с фирмой «Фитикон» разработаны две теплонасосные системы горячего водоснабжения на базе использования теплоты канализационных стоков в г. Виннице и канализационной насосной станции «Святошино» в г. Киеве [4].

Целесообразно тепловой насос устанавливать не в месте нахождения насосных станций, а в помещении бойлерной или теплового пункта, расположенных в непосредственной близости от потребителя теплоты. Схема такой системы показана на рис. 10, а ее основные расчетные данные в табл. 5.

Для выбора оптимальной системы теплоснабжения используется эксергоэкономический критерий оптимальности, который имеет вид [5–7]

$$Z_{\Sigma} = \left( \frac{\sum_n C_n P_n + \overline{K}_n}{\sum_k e_k} \right) \quad (1)$$

где  $C_n, P_n$  – стоимость и годовое потребление эксергии из внешних источников;  $\overline{K}_n$  – годовые капитальные и другие, связанные с ними затраты в  $n$ -м элементе;  $e_k$  – годовой расход эксергии для получения  $k$ -го продукта.

Таким образом, задача оптимизации в исследуемой технической системе может быть сведена к поиску экстремума функции

$$Z_{opt} = \min Z_{\Sigma}. \quad (2)$$

Стоимостная функция имеет вид

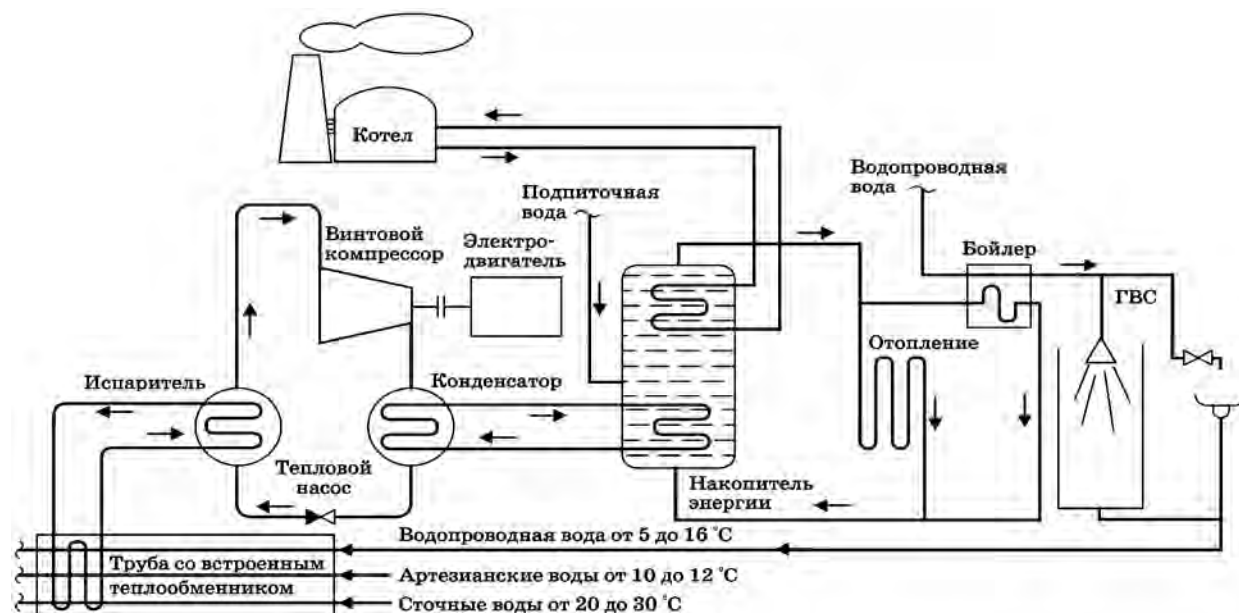


Рис. 10. Схема отопления и горячего водоснабжения с использованием теплового насоса и котельной.

$$J = \sum c_F F + \sum c_Z Z - \sum c_P P + C_R, \quad (3)$$

где  $J$  – доход;  $c_F$  и  $c_P$  – тариф (в денежных единицах – д.е.) на единицу топлива  $F$  и продукта  $P$ , сформированные рынком;  $c_Z$  – дисконтированные капитальные затраты от  $Z$ ;  $C_R$  – постоянная стоимость остатка как функция от совершенства проекта.

Эксергоэкономика предусматривает возможность проведения оптимизации элемента в отрыве от системы в целом. С этой целью используют эксергоэкономический фактор, максимально возможное значение которого при существующих ограничениях соответствует понятию «оптимальный элемент».

$$f_k = \frac{Z_k}{Z_k + c_{F,k} (E_{D,k} + E_{L,k})}, \quad (4)$$

где  $c_{F,k}$  – цена эксергии топлива, определяемая рыночной ценой на используемый источник энергии;  $Z_k = Z_k^{CI} + Z_k^{OM}$  – сумма капитальных ( $Z_k^{CI}$ ) и эксплуатационных затрат ( $Z_k^{OM}$ ) для  $k$ -го элемента;  $E_{D,k}$  и  $E_{L,k}$  – соответственно деструкция и потери эксергии для  $k$ -го элемента.

Уравнение (4) включает переменные энергетического анализа ( $E_{D,k} + E_{L,k}$ ) и переменные экономического анализа ( $Z_k, c_F, k$ ). Для этого ис-

пользуются алгоритмы эксергетического и эксергоэкономического анализа.

Следовательно, эксергоэкономика (принят также термин термоэкономика) представляет собой сочетание термодинамического (эксергетического) и стоимостного анализов и ее следует рассматривать как метод, указывающий пути сокращения стоимости системы как при ее создании, так и дальнейшей эксплуатации [8] при одновременном повышении энергетической эффективности установки.

В качестве объекта локального теплоснабжения рассмотрим комплекс жилых домов, для которого суммарная потребность в теплоте составляет 3 МВт. На рис. 11 приведены три традиционные системы теплоснабжения на основе бойлеров, в которых энергоносителями являются: электроэнергия, жидкое топливо (нефть) и газ, а также теплонасосная система теплоснабжения.

Данные для термодинамических моделей систем теплоснабжения:

- ◆ температура теплоносителя для потребителя  $T_{ГОР} = 120$  °С;
- ◆ температура теплоносителя, выходящего из солнечного коллектора  $T_{ХОЛ} = 80$  °С (солнечная энергия рассматривается как низкопотенциальный источник энергии для испарителя теплового насоса);
- ◆ КПД бойлера на жидком топливе  $\eta = 0,75$ ; на газе –  $\eta = 0,70$ ;



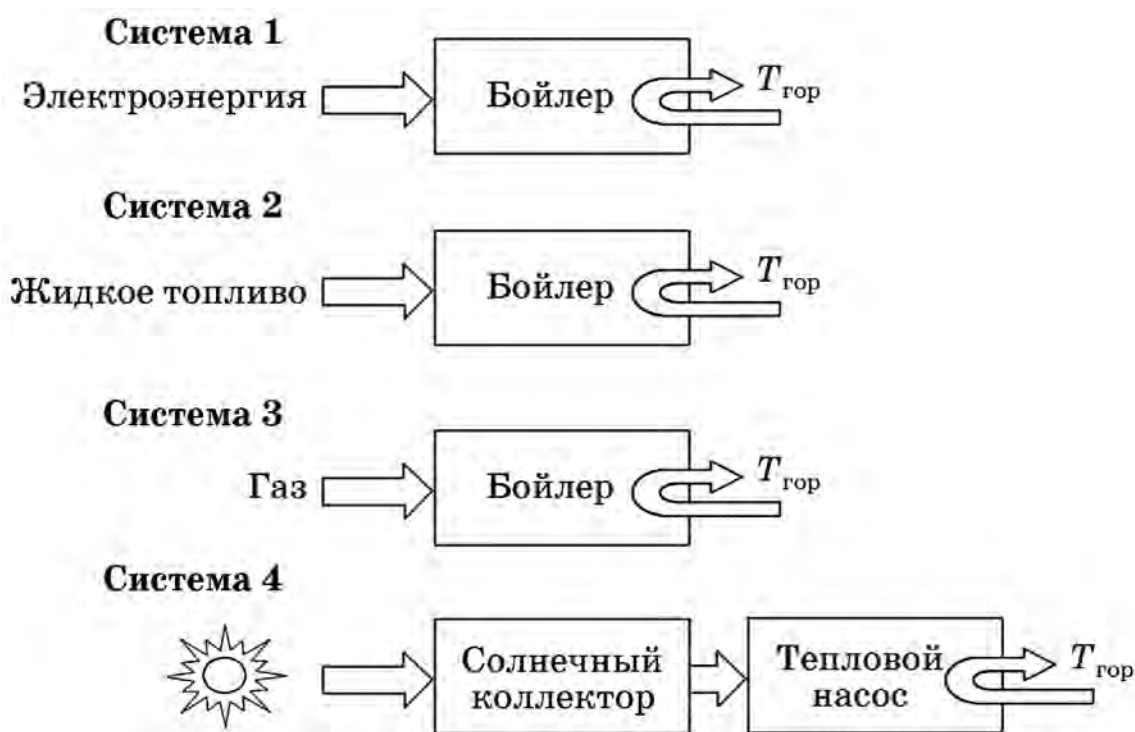


Рис. 11. Традиционные и теплонасосные системы теплоснабжения.

♦ адиабатный КПД компрессора теплового насоса  $\eta = 0,85$ , температурный напор в конденсаторе и испарителе  $\Delta T = 10$  К, рабочее вещество – R718.

В основе создания экономических моделей систем теплоснабжения лежат величины капитальных затрат на оборудование, средние цены на топливо: жидкое топливо –  $2,2 \cdot 10^{-6}$  у.е./кДж; газ –  $3,0 \cdot 10^{-6}$  у.е./кДж; электроэнергию –  $3,48 \cdot 10^{-2}$  у.е./кВт·ч.

Результаты эксергоэкономических расчетов представлены в графе „базовый вариант” табл. 6.

Повторим сравнительный анализ при варьировании КПД бойлеров:  $\eta = 0,65\%$  для старого типа оборудования и  $\eta = 90\%$  для нового типа оборудования. Результаты анализа также представлены в табл. 6.

Сравнительный анализ, предусматривающий изменение цен на топливо (табл. 6), демонстрирует преимущества теплонасосной системы теплоснабжения.

Под руководством А.Е. Денисовой выполнен анализ [9] эффективности работы комбинированных систем децентрализованных тепло- и водоснабжения при использовании низкопотен-

циальной теплоты грунтовых вод на базе тепловых насосов. Подобная система особо актуальна для регионов, для которых характерна циркуляция грунтовых вод вблизи поверхности грунта. Положительный эффект заключается в том, что обеспечивается возможность использования очищенной воды на выходе из выпарщика как питьевой для потребителя (рис. 12).

Насос 2 откачивает грунтовую воду из скважины 1 и направляет ее в модуль очистки 3, дальше в выпарщик 4, где грунтовая вода охлаждается приблизительно с  $14$  °С до  $4$  °С, затем в бак 5 чистой воды, которая подается в линию водоснабжения 6. Одновременно сквозь выпарщик 4 циркулирует холодильный агент, который в результате своего выпаривания отбирает теплоту от грунтовой воды. Компрессор 8 откачивает образованные пары холодильного агента из выпарщика при давлении насыщения, сжимает их до давления конденсации и направляет в конденсатор 9, где происходит передача теплоты конденсации, которая расходуется на нагревание воды. Нагретая вода из конденсатора 9 направляется в отопительные приборы 12 насосом 11 контура теплового потребителя.

Табл. 6. Эксергоэкономический анализ традиционных и теплонасосной систем теплоснабжения

	„Базовый вариант”		КПД бойлеров 65%		КПД бойлеров 90%		Повышение цены на первичное топливо	
	годовая стоимость тепло-снабжения, у.е./год	сравнительный анализ	годовая стоимость тепло-снабжения, у.е./год	сравнительный анализ	годовая стоимость тепло-снабжения, у.е./год	сравнительный анализ	годовая стоимость тепло-снабжения, у.е./год	сравнительный анализ
Система 1	848901	- 70%	-	-	-	-	-	-
Система 2	266030	- 3,6%	286048	- 10,3%	208201	+ 18,8%	597228	- 43,7%
Система 3	337001	- 24	387955	- 34%	363401	- 2,6%	447401	- 24,8%
Система 4	256516	0	256516	0	256516	0	336360	0

Установлено, что в результате использования предложенной схемы отопления и водоснабжения, в сравнении с известными схемами, ресурс работы выпарщика, наиболее ценного аппарата теплового насоса (ТН), увеличивается в несколько раз. Указанное приводит к сохранению высокого коэффициента теплопередачи выпарщика и надежности работы всей теплонасосной установки (ТНУ), а использование очищенной воды еще больше повышает экономическую эффективность системы.

Для удобства численного анализа принята одинаковая тепловая мощность теплообменника  $TCO_1$ ,  $Q = 500$  МВт для традиционной и предложенной схемы. Расход греющего пара  $G_{\Pi} = 226$  кг/с.

Повышение тепловой эффективности предложенной системы в сравнении с традиционным решением достигается за счет более полного использования теплоты обратной линии отопления, что снижает потери в окружающую среду, уменьшает температуру питательной воды на входе в экономайзер парогенератора и снижает температуру дымовых газов из парогенератора, повышая КПД системы. Установлено, что предложенная система рационального взаимодействия теплофикационной системы и системы отопления и горячего водоснабжения на принципах энергосбережения позволяет увеличить тепловую эффективность на 2%, что соответствует экономии топлива более чем на 3%.

Анализ разных вариантов теплоснабжения базируется на концепции эксергоэкономики.

Результаты обобщенного анализа шести систем (рис. 13) теплоснабжения с использованием различных источников энергии приведены в табл. 7.

Анализ результатов показывает, что эффективность ТНУ 6 с грунтовым модулем несколько превышает эффективность ТНУ 5 с солнечным коллектором (рис. 13), разница в общей стоимости системы в 3,5% (табл. 7) является незначительной и входит в диапазон 4% погрешности, допустимой на этапе проведения технических расчетов.

Единственной альтернативой ТН с использованием возобновляемых источников может быть бойлер (система 2) на жидком топливе. Но система 2 проигрывает ТН с СК и грунтовым теплообменником, потому что при использовании бой-

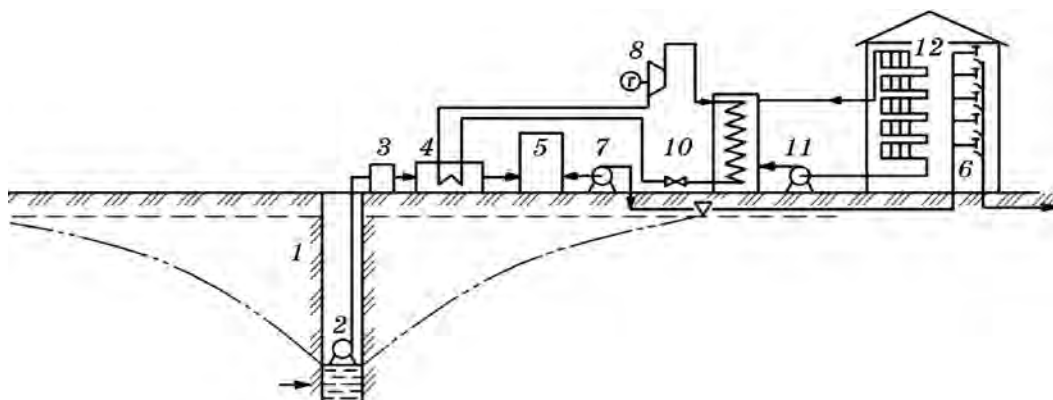


Рис. 12. Система отопления и водоснабжения с использованием грунтовых вод: 1 – скважина; 2, 7, 11 – насосы; 3 – модуль водоочистки; 4 – выпарщик; 5 – бак; 6 – линия водоснабжения; 8 – компрессор; 9 – конденсатор; 10 – дроссель; 12 – радиаторы.

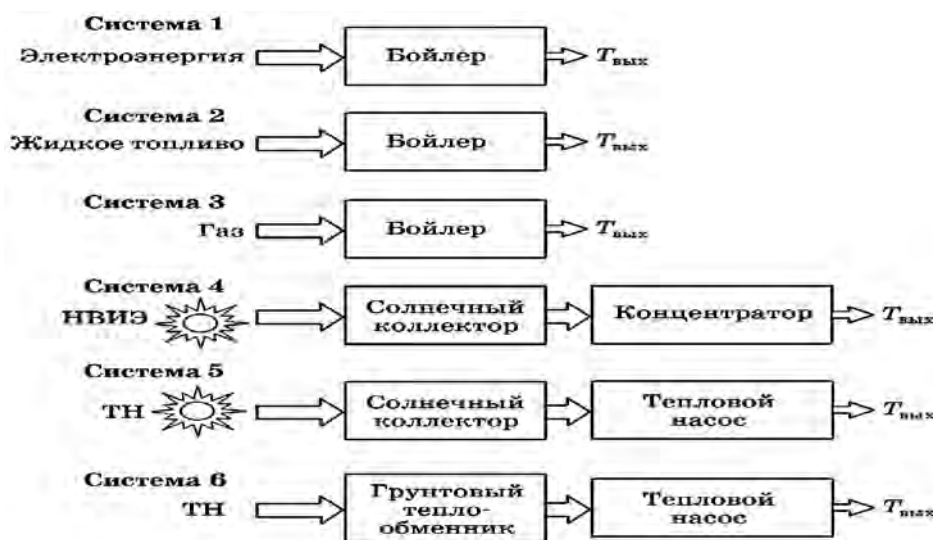


Рис. 13. Блок-схемы систем с использованием различных источников энергии.

лера необходимы дополнительные средства на обеспечение доставки, накопление топлива и систему пожарной безопасности. Следовательно, суммарные расходы превысят 3,5%, и ТН будет более эффективным. Значения деструкции эксергии  $E_D$  для каждого варианта приведены в (табл. 8). Анализ результатов эксергоэкономического анализа (табл. 9) показывает, что система 1 имеет наименьшее значение  $f$ . Системы 2 и 3 мало отличаются одна от другой. Система 4 приблизительно в 3,6 раз эффективнее систем 2 и 3. Альтернативные системы 5 и 6 наиболее целесообразны, потому что их эффективность в 12...15 раз превышает эффективность традиционных систем. На основании эксергоэкономичес-

кого анализа можно сделать вывод, что при принятой термодинамической и экономической моделях систем 1–6 (рис. 14), ТН системы с возобновляемыми источниками наиболее эффективны. С учетом мировой тенденции к увеличению цены на газовое топливо эффективность этих систем будет неуклонно расти.

В мировой практике современной методикой оценки экономической и экологической эффективности альтернативных систем теплоснабжения является методика RETScreen, которая предложена Министерством природных ресурсов Канады. Анализ результатов расчетов с использованием программы RETScreen альтернативной теплонасосной системы энергообеспечения для

Табл. 7. Результаты расчета технических показателей систем

Тип системы	$Z^{cl} = f(\hat{f}_i)$ , USD/год	$Z^{om}$ , USD/год	$Z_k$ , USD/год	Сравнение эффективности %
Система 1	5000	735000	740000	-60
Система 2	5600	304900	310500	-3,5
Система 3	6000	439100	445100	-33
Система 4	42100	565100	607200	-66
Система 5	76500	225000	301500	-0,5
Система 6	74800	225000	299800	0

Табл. 8. Деструкция эксергии  $E_D$  в элементах теплонасосной системы

№	Элемент системы	$E_D$ , кДж/год	%
1	Грунтовой выпарщик ТН	$5 \cdot 10^4$	81,7
2	Конденсатор ТН	$3,5 \cdot 10^3$	5,7
3	Выпарщик ТН	$1,6 \cdot 10^3$	2,6
4	Компрессор ТН	$1,1 \cdot 10^3$	1,8
5	Дроссельный вентиль	$0,5 \cdot 10^4$	8,2
	Всего	$61,2 \cdot 10^3$	100

Табл. 9. Эксергоэкономический фактор  $f$ 

№ системы	$Z_k$ , USD/год	$Z_e$ , USD/год	$f = \frac{Z}{Z + C_F(E_D + E_L)}$
Система 1	5000	735000	0,01
Система 2	5600	304900	0,022
Система 3	6000	439100	0,017
Система 4	42100	565100	0,07
Система 5	76500	225000	0,331
Система 6	74800	225000	0,35

условий Одессы показывает, что общие расходы на реализацию проекта децентрализованной системы альтернативного теплоснабжения с использованием грунтовых вод тепловой мощностью за отопительный период 26,4 МВт·год составляют 13200 USD. При коэффициенте эмиссии двуокиси углерода  $t_{CO_2} = 0,491$  т/ МВт·год снижение эмиссии двуокиси углерода составляет 7,09 т/год для одного объекта теплоснабжения.

Предложены рациональные схемы, конструкции и режимы работы комбинированных систем централизованного и децентрализованного тепло- и водоснабжения. На основании эксергоэкономического анализа доказано, что альтернативные системы являются наиболее эффективными, потому что эксергоэкономический фактор этих

систем  $f = 0,35$  (в сравнении с бойлером на жидком топливе, для которого эксергоэкономический фактор  $f = 0,022$ ). Определены общие расходы и выполнена экологическая оценка от реализации предложений.

Расчеты, выполненные в России, показали, что при стоимости природного газа 2 руб. 17 коп за м<sup>3</sup> и использовании теплонасосных установок в системах теплоснабжения ЖКХ эксплуатационные затраты в 3,69 раза меньше, чем при электрообогреве, в 1,3 раза меньше, чем для газовой котельной, в 2,44 раза меньше, чем для мазутной котельной, и в 1,9 раза меньше, чем для угольной котельной. Мощность сравниваемых источников тепловой энергии принята равной 1 Гкал/ч. Продолжительность работы в году составляет 5500 ч.



Рис. 14. Сравнение вариантов систем теплоснабжения при замещении тепловым насосом существующих источников тепловой энергии.

### Выводы

1. Приведенные данные указывают, что использование теплонасосных установок будет содействовать эффективному решению проблемы теплоснабжения коммунально-бытового сектора.
2. Одной из актуальных задач является организация в нашей стране выпуска тепловых насосов, необходимых мощностей и энергетических показателей.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Морозюк Т.В. Теория холодильных машин и тепловых насосов. — Одесса: Студия «Негоциант», 2006. — 712 с.
2. Теплоэнергетические установки и системы сельского хозяйства / Под ред. Б.Х. Драганова. — М.: Колос-Пресс, 2002. — 423 с.
3. Калугин П.В. Применение теплонасосных установок // Сборник докладов Международной конференции. Тепловые насосы. Киев, Львов. 2007. — С. 48–70.
4. Остапенко В.М., Уланов М.М., Уланов Н.М. Утилизация теплоты вод, циркулирующих в системах водопроводно-канализационных хозяйств

городов Украины // Сборник докладов Международной конференции. Тепловые насосы. Киев, Львов. 2007. — С. 121–125.

5. Bejan A., Tsatsaronis G., Moran M. Thermal Design and Optimization. // J. Wiley/ — New-York/ — 1996.

6. Тсатсаронис Дж. Взаимодействие термодинамики и экономики для минимизации стоимости энергопреобразующей системы (ред. и перев. с англ. профессора Т.В. Морозюк). — Одесса: Студия «Негоциант», 2002. — 152 с.

7. Долинский А.А., Драганов Б.Х., Дубровин В.А. Оптимизация технических систем методами эксергоэкономики // Промышленная теплотехника. — 2003. — Т. 25, № 4. — С. 28–31.

8. Драганов Б.Х. Термоэкономическая оптимизация энергетических систем при эксплуатации и экологических режимах их работы // Эко-технологии и ресурсосбережение. — 2006. — № 2. — С. 8–10.

9. Каменский А.В., Денисова А.Е., Мазуренко А.С. Использование грунтовых вод для отопления и водоснабжения // Эко-технологии и ресурсосбережение. — 2006. — № 4. — С. 3–5.

Получено 10.11.2007 г.