

УДК 697.1

Долинский А.А.¹,
Драганов Б.Х.², Морозюк Т.В.³¹Институт технической теплофизики НАН Украины²Национальный аграрный университет Украины³Морская Академия Щецина, Польша

АЛЬТЕРНАТИВНОЕ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ НА БАЗЕ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ: КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ

У статті розглянуто енергетичний, економічний, екологічний та соціальний фактори оцінки різних систем теплоснабження. Виявлено, що використання концепції ексергії здатне об'єднати ці критерії у комплексні.

В статье рассмотрены энергетический, экономический, экологический и социальный факторы оценки различных систем теплоснабжения. Показано, что использование концепции эксергии способно объединить эти критерии в комплексные.

In the paper the energetic, economic, ecology and social factors for estimating the effectiveness of the different kinds of the heat supplying systems are given. It is shown, that using the concept of exergy is capable to unit these criteria in some complex.

Успешное применение теплонасосных систем насчитывает более чем 50-летнюю историю, однако эти системы все еще значатся в разделе альтернативных систем теплоснабжения. Альтернативные системы теплоснабжения развиваются в состоянии постоянной конкуренции с традиционными системами. Психология потребителя такова, что альтернативная система должна обладать неоспоримыми преимуществами перед традиционной для того, чтобы потребитель отдал ей предпочтение. Подобная ситуация имеет место как в нашей стране, так и за рубежом.

Научно-исследовательским организациям, заводам-изготовителям и торговым организациям, занимающихся, соответственно, исследованием, совершенствованием, производством и продажей теплонасосных систем теплоснабжения, необходимо располагать системой оценочных факторов, на основании которой можно выявить преимущества и недостатки каждой из систем теплоснабжения в сравнении с теплонасосными [1]. Понятно, что выбор системы оценочных факторов оказывает существенное влияние на результат. Детальному рассмотрению этого вопроса и посвящена настоящая статья.

Напомним, что не существует единого критерия (оценочного фактора), на основании которого можно было бы однозначно определить целе-

сообразность применения тепловых насосов. Четыре фактора одновременно влияют на принятие решения: энергетический, экономический, экологический и социальный. Рассмотрим каждый из них.

Социальный фактор обычно используют для анализа существующих бытовых технических систем при их модернизации или появлении альтернативы. Социальный фактор не формализован и оценивает любой из эффектов технической системы по принципу “да/нет”. Например, при сравнении печного и теплонасосного теплоснабжения на вопрос “контакт человека с системой”, для печного отопления следует ответ “да”, для теплового насоса – “нет”, однако на вопрос “наличие автоматического управления” ответы меняются местами. Таким образом, для оценки системы по социальному фактору разработывают комплекс вопросов и ответов, на основании которых выносится решение о том, социальный фактор какой из рассматриваемых систем выше. Очевидно, что этот фактор не может быть использован в численном анализе и оптимизации, однако он иллюстративен для рекламы новых видов бытовой техники. В последние годы традиционные системы отопления подверглись модернизации, они оснащены системами автоматического контроля, защиты и управле-



Рис.1. Структура TEWI фактора экологического анализа.

ния, что способствует повышению их социального фактора. Для систем с использованием жидкого и твердого топлива существует необходимость хранить топливо в непосредственной близости от потребителя, обеспечивая соответствующие меры пожаробезопасности, что, естественно, снижает социальный фактор этих систем. Неоспоримым преимуществом обладают теплонасосные системы, работающие в режиме “зима-лето” (теплоснабжение в отопительный период и кондиционирование воздуха в жаркое время года), которые, однако, находят применение только в южных районах Украины.

Экологический фактор основывается на анализе прямых выбросов в атмосферу тепла и вредных веществ: CO_2 , N_2O , NO_x , CO , ROG (Reactive Organic Gases – продукты органических реакций), CH_4 и других углеводородов.

Существуют различные методики расчета этих величин, например [2].

Для использования экологического фактора при сравнении традиционных систем теплоснабжения с теплонасосными следует указать, какие выбросы для обоих типов систем теплоснабжения являются “прямыми”, а какие – “косвенными”.

Из всех известных экологических факторов единственным формализованным является TEWI (Total Equivalent Warming Impact – полный

эквивалент глобального потепления). Отметим, что TEWI фактор был предложен для экологической оценки холодильного и теплонасосного оборудования (рис.1), поэтому фокусируется на анализе вредного влияния рабочих веществ при попадании их в атмосферу. Подробная методика определения каждого слагаемого широко описана в литературных источниках, например в [1].

На основании TEWI фактора можно сделать вывод, что теплонасосная система (при работе в безаварийном режиме) не имеет прямых выбросов в атмосферу, следовательно, является экологически чистой для потребителя. Любая из традиционных систем теплоснабжения (за исключением систем, использующих электроэнергию в виде первичного топлива) имеет прямые выбросы в атмосферу продуктов сгорания топлива, которые с точки зрения TEWI фактора должны рассматриваться как косвенные.

Многие переменные, участвующие в определении TEWI фактора, представляют лишь данные среднестатистической информации. Основным элементом неопределенности в расчете значения TEWI – это величина выбросов в атмосферу CO_2 (кг) при производстве 1 кВт электроэнергии. При существующей системе электроснабжения невозможно определить от какой именно электростанции осуществляется элект-

роснабжение анализируемого теплового насоса. Для сравнительного анализа экологической чистоты применения традиционных и альтернативных систем теплоснабжения (в масштабах района города, целого города или региона страны) значение TEWI все больше зависит от надежности источника получения средневзвешенных величин, чем основывается на реальных данных. Таким образом, использование единого экологического фактора (например, TEWI) не объективно, а рассмотрение его в качестве комплексного эколого-энергетического фактора и тем более использование как функции оптимизации совершенно недопустимо.

В работе [3] авторы рассмотрели экологическую оценку влияния любой технической системы через использование концепции эксергии. Такой подход представляется перспективным, так как величина полной эксергии системы представляет сумму составляющих [4], в число которых входят химическая и термическая, способные, соответственно, описать изменение химического состава окружающей среды в непосредственной близости от исследуемой технической системы и изменение температуры вследствие тепловых выбросов.

Экономический фактор должен оказывать первостепенное влияние на решение вопроса о выборе системы теплоснабжения, так как цена единицы произведенной теплоты отражает все виды затрат [1, 3].

Проблема заключается в том, что при покупке оборудования точная цена за единицу произведенной теплоты неизвестна, так как неизвестны конкретные будущие условия эксплуатации традиционной или альтернативных систем. Экономический анализ чаще всего заключается в определении капитальных затрат системы теплоснабжения и далее используются переменные технико-экономического анализа для сравнительного анализа. Такие критерии как “срок окупаемости”, “амортизационные отчисления” и т.д. являются корректными только для промышленных тепловых насосов и абсолютно неприемлемы для оценки эффективности бытовой техники. Таким образом, сформулировать экономический фактор, который был бы корректным для любой теплонасосной системы вне зависимости от области

применения, также невозможно при существующей методике технико-экономического анализа.

Энергетический фактор многие годы был единственным реально формализованным и широко используемым оценочным фактором. Для традиционных систем теплоснабжения это КПД (η), для тепловых насосов – коэффициент преобразования теплового насоса COP_{TH} . Если учесть, что величина КПД в самом общем случае изменяется в пределах $0 < \eta < 1$, а величина COP_{TH} в пределах $1 < COP_{TH} < \infty$, то излишне пояснять некорректность использования этих величин при сравнительном анализе различных систем теплоснабжения.

Использование эксергетического КПД способно объективно оценить эффективность любой

из систем теплоснабжения $\varepsilon = \frac{E_{P,tot}}{E_{F,tot}}$, где $E_{P,tot}$ –

эксергия продукта системы (произведенного тепла), $E_{F,tot}$ – эксергия топлива системы (затраченного первичного топлива) [1,5].

С появлением термоэкономики (эксергоэкономики) как инструмента для анализа и оптимизации принятие решения о рациональности использования тепловых насосов значительно облегчилось, так как слияние энергетического и экономического факторов понизило размерность решаемой задачи и позволило сформулировать однозначный ответ [1,5]. Стоимость единицы эксергии произведенной теплоты (обычно применяют среднегодовую стоимость) является функцией капитальных и эксплуатационных затрат (Z_{tot}) любой из систем теплоснабжения, а также температурных режимов их работы и степени совершенства происходящих процессов. Таким образом, результаты эксергоэкономического анализа способны дать объективную и всестороннюю оценку эффективности теплоснабжения на базе тепловых насосов и установить границы, в которых тепловой насос имеет приоритет по сравнению с другими системами теплоснабжения.

Эксергоэкономическая оценка любой технической системы основывается на уравнении эксергоэкономического баланса [5] $C_{W,tot} + Z_{tot} = C_{Q,tot}$, где левая часть равенства представляет входящую стоимость, а правая часть – выходящую стои-

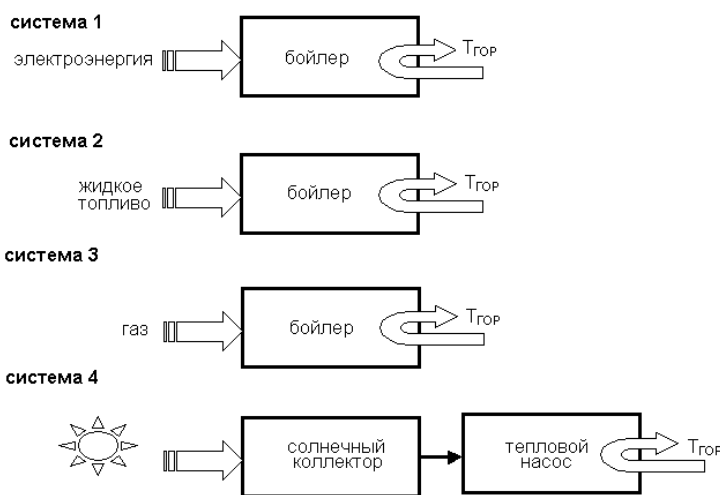


Рис. 2. Традиционные и теплонасосная системы теплоснабжения.

мость. Стоимость любого потока ($C_{Q,tot}$ – теплоты или $C_{W,tot}$ – работы) определяется произведением цены эксергии этого потока (удельной стоимости эксергии) и величины эксергии потока.

Поскольку целью настоящей работы является сравнительный анализ систем теплоснабжения, а не оптимизация какой-либо отдельной системы теплоснабжения, то эксергоэкономический анализ будет проведен для систем в целом без поэлементного их рассмотрения.

В качестве объекта локального теплоснабжения рассмотрим комплекс жилых домов, для которого суммарная потребность в теплоте составляет 3 МВт. На рис. 2 приведены три традиционные системы теплоснабжения на основе бойлеров, в которых топливом выступают: электроэнергия, жидкое топливо (нефть) и газ, а также теплонасосная система.

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 $\eta = 0,70$;
- ◆ адиабатный КПД компрессора теплового насоса $\eta = 0,85$, температурный напор в конден-

саторе и испарителе $\Delta T = 10$ К, рабочее вещество – R718.

В основе создания экономических моделей систем теплоснабжения лежат величины капитальных затрат на оборудование (подробно изложено в [1]) 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” таблицы.

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

В заключение проведем сравнительный анализ по “базовому варианту” в предположении, что произойдет повышение цен на жидкое топливо в 2,3 раза, на газ – в 1,3 раза и на электроэнергию – в 1,5 раза.

Проанализируем полученные результаты. Для “базового варианта” эффективность теплонасосной системы незначительно превышает эффективность системы 2, использующей жидкое топливо. Существенным недостатком системы 2 является отсутствие системы магистральной доставки топлива к потребителю, следовательно, возникает проблема хранения жидкого топлива с проведением обязательных мероприятий по технике безопасности. Понятно, что эти затраты должны быть включены как дополнительные капитальные затраты и затраты на обслуживание. Естественно, что суммарные затраты “система 2 + система хранение жидкого топлива” значительно повысятся, следовательно, теплонасосная система однозначно окажется эффективнее.

Анализ влияния изменения КПД бойлеров на результаты выбора системы теплоснабжения показывает, что при использовании бойлеров старых конструкций ($\eta = 65\%$) теплонасосная система однозначно оказывается более эффективной. При использовании бойлеров новых конструкций система 2 становится более эффективной, чем тепловой насос, однако, следует помнить о дополнительной стоимости мероприятий по сохранению жидкого топлива. Расхождение в результатах анализа для системы 3 и теплонасосной системы в $-2,6\%$ не существенно, поэтому систе-

Таблица. 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	848 901	- 70 %	-	-	-	-	-	-
система 2	266 030	- 3,6 %	286 048	- 10,3 %	208 201	+ 18,8%	597 228	- 43,7 %
система 3	337 001	- 24 %	387 955	- 34 %	363 401	- 2,6 %	447 401	- 24,8 %
система 4	256 516	0	256 516	0	256 516	0	336 360	0

ма 3 также представляет серьезную альтернативу тепловому насосу.

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

На основании проведенных исследований авторы отмечают, что использование концепции эксергии в трех оценочных факторах из четырех, а также возможность проведения комплексных анализов на основе эксергии (энергетика + экономика = эксергоэкономика и энергетика + экология = эксергоэкология) дает однозначную оценку эффективности систем теплоснабжения.

Вывод

Оценочные факторы, основанные на концепции эксергии, являются объективными и универсальными как при проведении анализа и оптимизации однотипных систем теплоснабжения, так и при сравнительном анализе традиционных и теплонасосных систем теплоснабжения.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Морозюк Т.В.* Теория холодильных машин и тепловых насосов. – Одесса: Студия “Негоциант”, 2006. – 712 с.
2. *RETScreen* Renewable Energy Project Analysis Software. RETScreen Customer Support, CanMet Energy Diversification Research Laboratory, Natural Resources Canada, 2005.
3. *Долинский А.А., Драганов Б.Х., Морозюк Т.В.* К вопросу оптимизации тепловых насосов // Электрифікація та автоматизація сільського господарства. – 2004. – № 4 (9). – С. 86-94.
4. *Морозюк Т.В., Тсатсаронис Дж.* Углубленный эксергетический анализ – современная потребность оптимизации энергопреобразующих систем // Промышленная теплотехника. – 2005. – Т. 27, № 2. – С. 88-92.
5. *Тсатсаронис Дж.* Взаимодействие термодинамики и экономики для минимизации стоимости энергопреобразующей системы / Под ред. Т.В. Морозюк. – Одесса: Студия “Негоциант”. – 2002.

Получено 20.09.2001 г.