

УДК 621.577

Бикмаев С.Р., Губинский М.В., Усенко А.Ю., Федоров С.С., Форись С.Н., Шишко Ю.В.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕПЛОНАСОСНЫХ УСТАНОВОК
ДЛЯ НУЖД ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ В УСЛОВИЯХ УКРАИНЫ**

В настоящее время перед Украиной, как и перед всем миром, остро стоят две взаимосвязанные проблемы: экономия топливно-энергетических ресурсов и уменьшение загрязнения окружающей среды. В условиях истощения запасов органического топлива и резкого повышения затрат на освоение новых месторождений становится все более нерациональным сжигание угля, газа и нефтепродуктов в миллионах маломощных котельных и индивидуальных топочных агрегатах, вызывающее большое количество вредных выбросов в атмосферу и существенное ухудшение экологической обстановки в городах и мире.

Одним из наиболее эффективных путей экономии топливно-энергетических ресурсов является использование экологически чистых нетрадиционных возобновляемых источников энергии, и в первую очередь, солнечной энергии, аккумулированной в грунте, водоемах и воздухе [1–3]. Однако периодичность действия и низкий температурный потенциал этих источников не позволяют использовать их энергию непосредственно, без преобразования. В качестве преобразователей тепловой энергии, от теплоносителя с низкой температурой к теплоносителю с более высокой температурой, используются теплонасосные установки (ТНУ)

Целью данной работы является определение целесообразности применения ТНУ для нужд теплоснабжения при существующем технологическом уровне производств и преобразования энергии.

Для оценки энергетической эффективности теплового насоса используется коэффициент преобразования μ , представляющий собой отношение теплоты, отдаваемой нагреваемому теплоносителю, к затраченной энергии на привод компрессора.

На практике величина коэффициента преобразования, в основном, зависит от разности температуры источника и потребителя, степени обратимости цикла, термодинамических свойств рабочего тела и других факторов. Зависимости коэффициентов преобразования теплового насоса от температуры низкопотенциального источника теплоты и температуры нагреваемого теплоносителя приведены на рисунке 1. Во всех расчетах использовались Р-Т диаграммы аммиака (R717).

На рисунке 1 видно, что, например, при температуре источника теплоты на уровне +10 °С и температуре нагрева теплоносителя на уровне 60 °С коэффициент преобразования теплонасосной установки достигает 2,53. С увеличением температуры источника низкопотенциального тепла или с уменьшением температуры, необходимой потребителю, коэффициент преобразования возрастает и может достигать 5 и больших значений.

В качестве низкопотенциальных источников теплоты могут использоваться:

а) вторичные энергетические ресурсы промышленного производства

- теплота вентиляционных выбросов;
- теплота серых канализационных стоков;
- сбросная теплота технологических процессов.

б) возобновляемые источники энергии:

- теплота окружающего воздуха;
- теплота грунтовых вод;
- теплота водоемов и природных водных потоков;
- теплота солнечной энергии;
- теплота поверхностных слоев грунта.

Выбор хладагента также имеет большое значение в работе теплового насоса. Поэтому, хладагент не должен быть легковоспламеняемым, оказывать разрушающее влияние на окружающую среду, быть токсичным. При этом он должен иметь рабочее давление, близкое к атмосферному и высокую удельную теплоту парообразования, иметь совместимость с материалами, из которых изготавливается холодильная машина, и имеет низкую себестоимость [2].

В таблице 1 представлены зависимости коэффициента преобразования теплового насоса от наиболее распространенных хладагентов при прочих равных условиях ($t_{ист} = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_{тн} = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Исходя из результатов расчета приведенных в таблице 1, видно, что применение некоторых хладагентов существенно повышает коэффициент преобразования теплоты. Например, при сравнении двух тепловых насосов, использующих в качестве рабочего тела R717 и R410A соответственно, коэффициент преобразования первого будет выше на 0,56 (28,6 %). Поэтому при выборе хладагента необходимо учитывать его термодинамические и теплофизические характеристики. Это позволит достичь максимальной

эффективности работы теплового насоса.

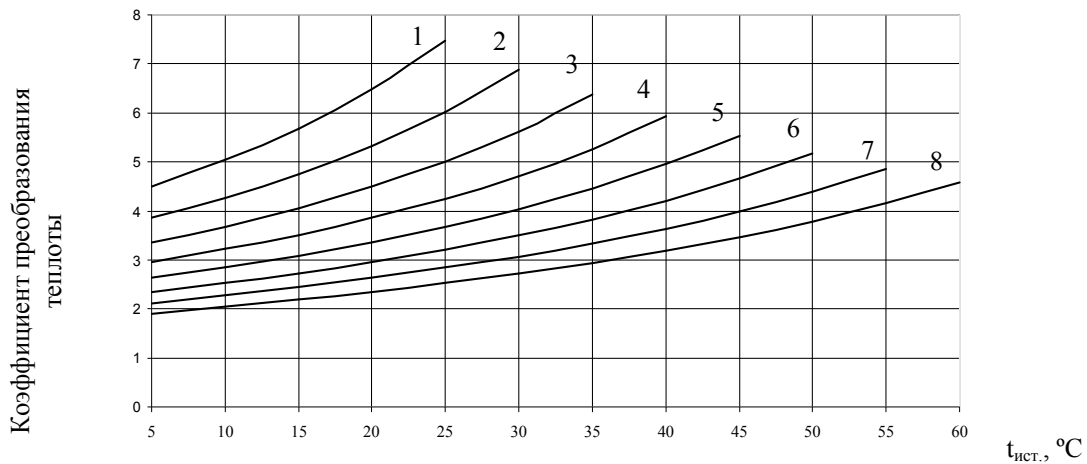


Рисунок 1 – Зависимость коэффициента преобразования энергии μ от температуры низкопотенциального источника теплоты $t_{ист}$ и температуры теплоносителя $t_{тн}$, нагретого в тепловом насосе

Температура теплоносителя после теплового насоса:

- 1) 35 °C; 2) 40 °C; 3) 45 °C; 4) 50 °C; 5) 55 °C; 6) 60 °C; 7) 65; 8) 70 °C

Таблица 1 – Влияние хладагента на коэффициент μ

Хладагент	Химическая формула	μ	Название
R410A	R32/125 (50/50)	1,97	Хлорофторокарбонат
R22	CHClF ₂	2,37	Хлордифторметан
R134a	CH ₂ FCF ₃	2,39	Тetraфторэтан
R12	CCl ₂ F ₂	2,48	Дифтордихлорметан
R600a	CH(CH ₃) ₃	2,52	Изобутан
R717	NH ₃	2,53	Аммиак
R11	CCl ₃ F	2,80	Трихлорфторметан

На рисунке 2 приведена зависимость энергетической составляющей стоимости выработанной теплоты от коэффициента преобразования и тарифов на электрическую энергию. Так же, для сравнения, на рисунке 2 указана топливная составляющая стоимости 1 Гкал тепловой энергии при стоимости природного газа 2500 грн/тыс.м³ и КПД котла 80 %.

Исходя из полученных результатов (рис. 2), область, расположенная ниже горизонтали ПГ, является на данном этапе экономически целесообразной с точки зрения затрат на энергоносители. Например, при средней стоимости электрической энергии на уровне 0,75 грн/кВт·ч и среднегодовом коэффициенте преобразования $\mu = 2,5$ стоимость выработанной теплоты будет меньше, в среднем, на 12 % относительно газового котла. В связи с этим действующие в настоящее время тарифы на тепловую энергию заставляют все чаще задумываться над альтернативными способами теплоснабжения, а теплонасосные системы представляются одними из наиболее эффективных средств решения этой проблемы.

Эффективность тепловых насосов в последние годы значительно возросла вследствие изменений, внесенных в конструкцию компрессоров, теплообменников и микропроцессорных систем управления. Применение двухступенчатого сжатия и впрыска в компрессор жидкого фреона позволяет существенно увеличить диапазон давлений испарения и конденсации, что в свою очередь позволяет снизить температуру испарения и повысить конечную температуру теплоносителя. В результате воздействие таких систем на окружающую среду существенно снижается. Сегодня они считаются более «чистыми» в экологическом плане, нежели самые современные высокоэффективные газовые котлы. Проведенные ис-

следования помогают провести сравнительный анализ воздействия на среду тепловых насосов и газовых котлов по годовым эксплуатационным показателям сгорания и объемам выбросов CO₂ в атмосферу (рис. 3).

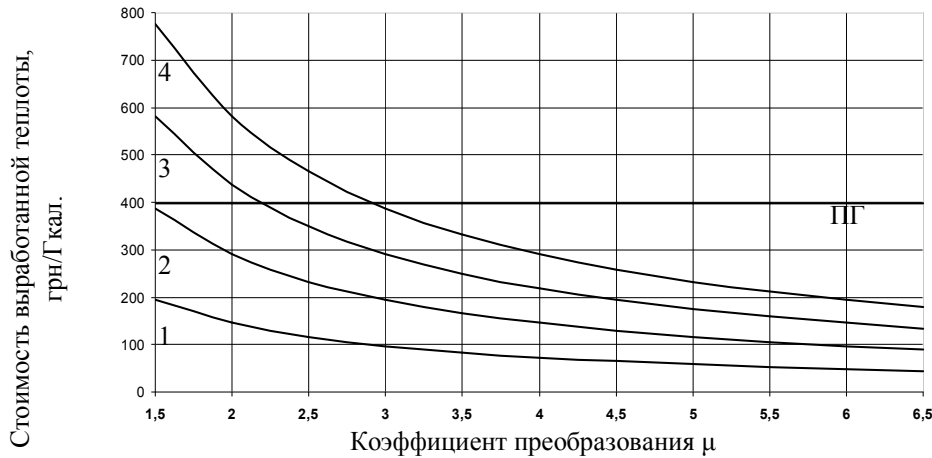


Рисунок 2 – Зависимость энергетической составляющей в себестоимости 1 Гкал тепловой энергии при различных условиях ее производства
 1–4 – производство с помощью теплового насоса при стоимости электроэнергии:
 (1) – 0,25грн/кВт·ч; (2) – 0,5грн/кВт·ч; (3) – 0,75грн/кВт·ч; (4) – 1грн/кВт·ч
 ПГ – производство в энергетических котлах при КПД котельной 80 % и стоимости природного газа 2500 грн./1000 м³

Средний показатель выбросов CO₂ при производстве электрической энергии в Украине составляет 512,95 г CO₂-экв/кг у.т. [4] При расходе 0,420 кг у.т./кВт·ч, количество выбросов равно 215,5 г CO₂-экв/кВт·ч. Выбросы CO₂ при сжигании природного газа – 221 г CO₂-экв/кВт тепловой энергии. [4]

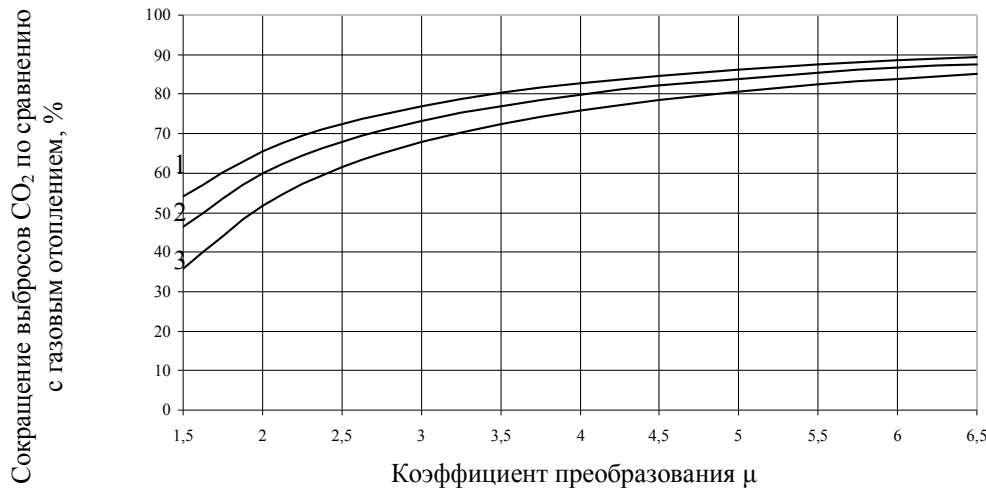


Рисунок 3 – Снижение выбросов парниковых газов в зависимости от коэффициента преобразования энергии μ и коэффициента использования единичной мощности теплонасосной установки $K_{и}$
 1) $K_{и} = 60 \%$; 2) $K_{и} = 80 \%$; 3) $K_{и} = 100 \%$

Для примера: тепловой насос с коэффициентом сезонной производительности – 2,5 по сравнению с котлом, имеющим коэффициент годовой производительности на уровне 80 %, выбрасывает в атмосферу CO₂ на 68 % меньше, чем газовый котел той же мощности за аналогичный временной отрезок. Снижение выбросов и экономия топлива не единственное достоинство тепловых насосов. Их использование приводит, также, к снижению и других вредных соединений: Sox, Nox, твердых частиц, фтористых соединений. Поэтому применение теплонасосной техники представляет собой не очередную модернизацию традиционных энергоисточников, а внедрение относительно нового, прогрессивного, высокоэффективного и экологически чистого способа преобразования энергии, позволяющего не только уменьшить

затрати органического топлива при получении теплоты, но и существенно снизить загрязнение окружающей среды.

Выводы

Одним из важных преимуществ тепловых насосов является возможность использования низкопотенциальных возобновляемых источников энергии, а также вторичных энергетических ресурсов промышленных предприятий. Это значительно расширяет ресурсную базу теплоснабжения, делает ее менее зависимой от поставок дорогих топливных ресурсов.

Анализ представленных материалов показал, что эффективность работы тепловых насосов определяется рядом факторов: температурным режимом работы (коэффициентом преобразования μ), видом хладагента, стоимостью электрической энергии, затрачиваемой на привод компрессора и ценой природного газа, используемого у альтернативного источника теплоснабжения (энергетического котла).

Результаты исследования показали, что при существующем уровне цен на природный газ (2500 грн/тыс. м³) и электрическую энергию (0,75 грн/кВт·ч), работа ТНУ целесообразна, с точки зрения затрат энергоносителя, при коэффициенте преобразования $\mu \geq 2,5$.

Переход производства тепловой энергии на базе ТНУ обеспечивает снижение выбросов парниковых газов на 35–90 %.

Несмотря на очевидные преимущества, недостатками тепловых насосов является высокая стоимость оборудования. Поэтому актуальной является задача выбора режимных и конструктивных параметров работы ТНУ, обеспечивающих экономическую эффективность и инвестиционную привлекательность в условиях Украины. К основным направлениям исследований в данной области можно отнести изучение работы комплекса тепловой насос – возобновляемый источник энергии, возможных схем использования низкопотенциальных ВЭР при одновременной выработке тепловой и электрической энергии.

Литература

1. Боровков В.М., Аль Алавин А.А. Энергосберегающие теплонасосные системы теплоснабжения. Изв. Вузов. Проблемы энергетики. – 2007. – № 1–2.
2. Николаев Ю.Е., Новиков Д.В., Федоров Р.В. Определение эффективных областей использования теплонасосных установок в системах теплоснабжения. Проблемы совершенствования топливно-энергетического комплекса: сб. науч. Тр. Вып.4. – Саратов: Изд-во Саратов. Ун-та, 2006.
3. Горшков В.Г. Тепловые насосы. Аналитический обзор (Применение тепловых насосов в России). Справочник пром. Оборудования. – 2005. – N4(7).
4. Усенко А.Ю. Совершенствование процесса окислительного пиролиза биомассы с целью снижения эмиссии парниковых газов: автореф. дисс. на соискание науч. степ. канд. техн. наук: спец. 05.14.06 «Техническая теплофизика и промышленная теплоэнергетика. – Днепропетровск, 2006. – 19 с.

УДК 621.577

Бикмаев С.Р., Губинский М.В., Усенко А.Ю., Федоров С.С., Форис С.Н., Шишко Ю.В.

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕПЛОНАСОСНИХ УСТАНОВОК ДЛЯ ПОТРЕБ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ В УМОВАХ УКРАЇНИ

У статті представлені результати теоретичного дослідження ефективності роботи теплових насосів. Визначено економічну та екологічну доцільність використання цих агрегатів. Встановлені залежності впливу температур джерела теплоти і теплоносія, що нагрівається, на коефіцієнт трансформації. Показано, що застосування теплових насосів, дозволяє істотно скоротити викиди парникових газів в атмосферу.

Bikmaev S., Gubinsky M., Usenko A., Fedorov S., Foris S., Shishko Y.

THE RESEARCH OF HEAT PUMPS EFFICIENCY IN HEAT SUPPLY OF UKRAINIAN CONSUMERS

The article presents the results of theoretical researches of heat pumps efficiency. Were identified economic and environmental potential of these equipment. The influence of temperature heat source and cool heat-transfer agent on transformation coefficient concerning Ukrainian consumers was established. It is shown the use of heat pumps can significantly reduce emissions of the greenhouse gases in the atmosphere.