

УДК 621.11

Долинский А.А., Базеев Е.Т., Чайка А.И.

Институт технической теплофизики НАН Украины

## ТЕПЛОВЫЕ НАСОСЫ В ТЕПЛОСНАБЖЕНИИ

В статті розглянуто проблеми використання теплонасосних установок у системах теплопостачання за кордоном і в Україні. Підкреслено необхідність прийняття закону та програми про пріоритетне використання таких систем теплопостачання в Україні.

В статье представлено состояние использования теплонасосных установок в системах теплоснабжения в мире и Украине. Подчеркнута необходимость принятия закона и программы о приоритетном использовании таких систем теплоснабжения в Украине.

We analyze the state-of-the-art of using heat pumps in heat supply systems throughout the world and in Ukraine. We emphasize the necessity to adopt the law and program of priority application of such heat supply systems in Ukraine.

ТН — тепловой насос;  
ТНУ — теплонасосная установка;  
ТНС — теплонасосная система;  
 $Q_1$  — теплота, отводимая от ТН;  
 $Q_2$  — теплота, отобранная от источника;  
N — работа, подведенная к ТН;

$E'_{эл.э.}$  — эксергия используемой электроэнергии;  
 $E''$  — эксергия потока отводимой теплоты;  
 $\varepsilon$  — отопительный коэффициент (коэффициент преобразования);  
 $\eta_e$  — эксергетический КПД.

Рассмотренная Кабинетом Министров Украины 15 марта 2006 г. “Энергетическая стратегия Украины на период до 2030 года” предусматривает сократить зависимость от импорта энергоносителей с 54,8 % до 11,7 %. При этом планируется ограничение импорта природного газа, переход на электроотопление и значительное увеличение доли угля и атомной энергетики в общем топливно-энергетическом балансе страны.

В соответствии с “Энергетической стратегией Украины на период до 2030 г.” развитие системы теплоснабжения планируется осуществлять путем “постепенного наращивания производства тепла на базе электрических теплогенераторов (преимущественно — тепловых насосов)” [1]. Прогнозируется, что до 2030 г. объем производства тепловой энергии электрическими теплогенераторами вырастет до 180 млн. Гкал по сравнению с 1,7 млн. Гкал в 2005 г. Таким образом, Энергетическая стратегия определила во многом новый концептуальный подход к теплоснабжению жилищно-коммунального комплекса. Одновременно стратегия предусматривает на протяжении 2005–2030 г.г. сохранение доли производства электроэнергии на АЭС на уровне 2005 г., т.е. 52 % от суммарного годового произ-

водства электроэнергии в Украине [1]. Предполагается, что именно электроэнергия АЭС, как базовая и экологически более “чистая”, обеспечит работу тепловых насосов (Предполагается, что будет обеспечена безопасная работа существующих и запланированных к сооружению энергоблоков АЭС, и катастрофы, подобной Чернобыльской, не произойдет).

Принцип действия и технические основы создания тепловых насосов приведены в учебниках по технической термодинамике, монографиях и многочисленных статьях.

Как известно, эффективность ТН оценивается величиной отопительного коэффициента, представляющего собой отношение количества теплоты  $Q_1$ , сообщаемой нагреваемому объему, к величине работы N, подведенной в цикле:

$$\varepsilon = Q_1 / N. \quad (1)$$

При этом теплота  $Q_1$  равна сумме теплоты  $Q_2$ , отобранной от холодного источника, и теплоты эквивалентной работе N, подводимой извне для осуществления обратного цикла.

Величина  $\varepsilon$  зависит от температур низкопотенциального источника теплоты и приемника (потребителя) теплоты. Так как в цикле ТН  $Q_1$

всегда больше  $N$ , то всегда отопительный коэффициент  $\varepsilon > 1$  (В реальных условиях  $\varepsilon = 2...4$ ).

Иногда смешение понятий отопительного коэффициента ТН (всегда больше 100 %) и коэффициента полезного действия всякого устройства (всегда меньше 100 %) приводит к утверждению, что ТН “концентрирует энергию” из окружающей среды и дает возможность получать работу из теплоты окружающей среды, что противоречит второму закону термодинамики.

На самом деле принцип работы ТН не противоречит законам термодинамики. Отличие сути отопительного коэффициента от коэффициента полезного действия явственно видно при составлении и анализе эксергетического баланса теплового насоса. Такой анализ удобен при исследовании технических устройств, в которых используется энергия в различных формах: теплота, электроэнергия, энергия химических превращений и др. (иллюстративные примеры приведены в многочисленных источниках, в т.ч. в [2-8]).

Пусть, например [6], для поддержания температуры в помещении 293 К конденсирующееся рабочее тело ТН должно иметь температуру 323 К. Примем температуру окружающей среды 263 К, температуру кипения хладагента в испарителе 253 К, подводимую мощность к компрессору ТН 2 кВт, отдаваемую в помещение тепловую мощность 5 кВт. Тогда по энергетическому балансу отбираемая тепловая мощность из окружающей среды равна 3 кВт. Отопительный коэффициент при этом составляет согласно (1) 2,5.

Количественной же характеристикой эффективности устройства (в данном случае ТН) с точки зрения обратимости протекающих в нем процессов служит эксергетический КПД.

Применительно к описанным выше условиям подводимая эксергия электроэнергии  $E'_{эл.э} = 2$  кВт. Эксергия отводимой теплоты  $Q_1$  равна  $E'' = 5$  (323-263) / 323 = 0,93 кВт.

Необратимость, определяемая несовершенством термодинамических процессов в устройстве, привела к потере эксергии

$$E'_{эл.э} - E'' = 2 - 0,93 = 1,07 \text{ кВт.}$$

Эксергетический КПД теплового насоса составит

$$\eta_e = E'' / E'_{эл.э} = 0,93/2 = 0,46.$$

Этот КПД, в отличие от отопительного коэффициента, определяет степень приближения процесса к идеальному и показывает, что 54 % подведенной эксергии потеряно.

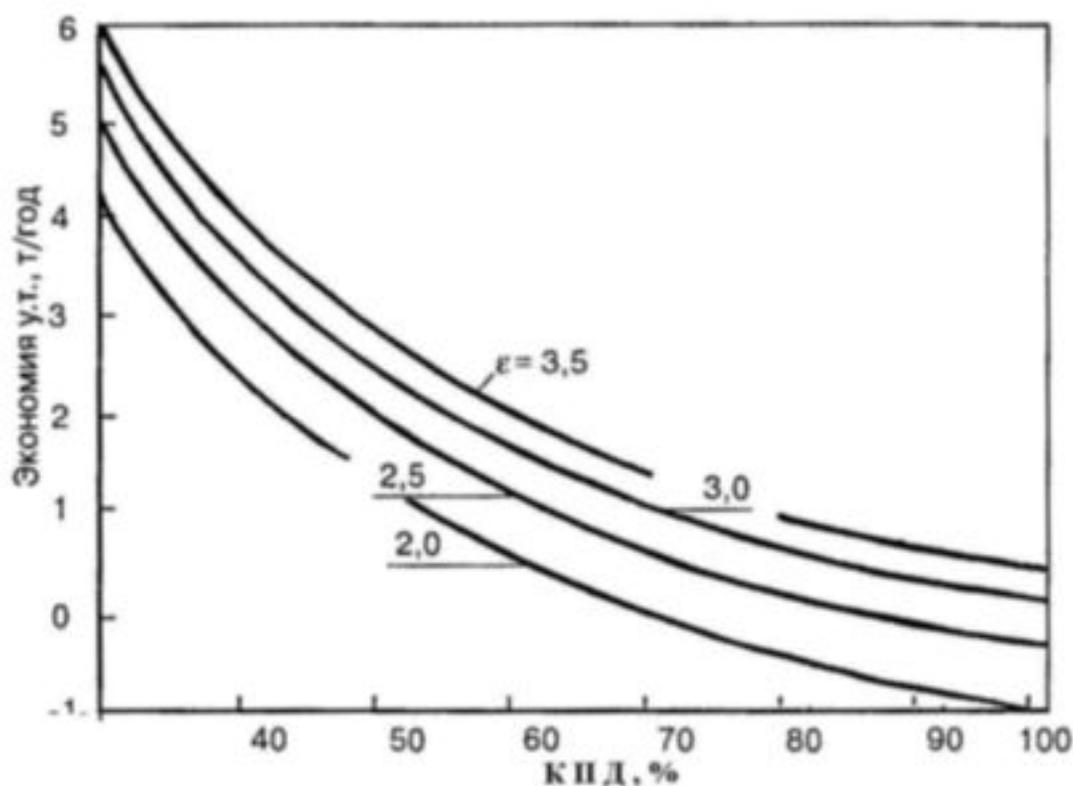
Несмотря на вышеприведенные, давно известные специалистам-теплоэнергетикам сведения по техническим основам работы ТН, предложения об использовании в системах теплоснабжения ТН не всегда принимаются управленческим аппаратом. И в некоторых инженерных кругах существует неоднозначное отношение к таким новациям.

В то же время мировая практика давно освоила теплонасосные установки и различные схемные решения включения таких установок в системы теплоснабжения, в т.ч. и комбинирование тепловых электростанций и ТН, определив такую схему как термодинамический метод отопления [2,7].

О возможности экономии топлива при замене традиционных теплогенераторов, применяемых для децентрализованного теплоснабжения, тепловыми насосами с различными коэффициентами преобразования можно судить по рис.1 [9]. Как следует из рисунка, ТН с коэффициентом преобразования  $\varepsilon = 2$  проигрывает по затратам первичного топлива любым теплогенераторам, имеющим КПД  $> 70$  %. Единственным преимуществом ТН в этих условиях будет то обстоятельство, что его использование избавляет владельца дома от всех забот, связанных с приобретением и доставкой твердого или жидкого топлива.

При увеличении коэффициента преобразования ТН и уменьшении доли потребляемой им электрической энергии (наиболее высококачественной и дорогостоящей) эффективность применения теплонасосного децентрализованного теплоснабжения жилых, общественных и промышленных зданий существенно превосходит эффективность традиционных систем.

Мировой рынок ТН является достаточно стойким к конъюнктурным колебаниям, продажи ТН составляют около 1 млн. единиц в год. По прогнозам Мирового энергетического комитета, до 2020 года в передовых странах отопление и горячее водоснабжение при помощи ТН будет составлять 75 % [10].



**Рис.1.** Зависимость экономии топлива при применении ТН от КПД теплогенераторов традиционной системы (величина экономии отнесена к  $100 \text{ м}^2$  отапливаемой площади утепленного дома).

С помощью тепловых насосных установок можно надежно решить вопросы теплоснабжения городского комплекса и объектов, расположенных вдали от тепловых коммуникаций — фермерских хозяйств, коттеджей, автозаправочных станций. В целом схемы с тепловыми насосами универсальны и применимы как в гражданском, промышленном, так и в частном строительстве.

Помимо экономичности ТН имеют и другие преимущества:

1. Экологичность. Отсутствие выброса вредных веществ;

2. Безопасность эксплуатации. Отсутствие открытого пламени, пожароопасных хранилищ для топлива; исключена утечка газа;

3. Надежность. Минимум подвижных частей, практически не требуется обслуживания. Срок эксплуатации теплового насоса составляет 15 – 25 лет;

4. Комфорт. ТН работает бесшумно (не громче холодильника), а автоматика и мультизо-

нальный климатический контроль создают комфорт и уют в помещениях;

5. Гибкость. ТН совместим с любой циркуляционной системой отопления, а современный дизайн позволяет устанавливать его в любых помещениях;

6. Универсальность по отношению к виду используемой энергии (электрической или тепловой);

7. Широкий диапазон мощностей (от долей до десятков тысяч киловатт).

В системах теплоснабжения многих стран широкое распространение получили парокompрессорные ТН мощностью до 0,5 МВт с поршневыми компрессорами. Производятся также винтовые ТН тепловой мощностью до 9 МВт и турбокомпрессорные — выше 9 МВт. В настоящее время в мире в системах теплоснабжения эксплуатируется более 18 млн. крупных ТН. В США около 30 % жилых домов оборудованы тепловыми насосами [10]. Исследованиями и производством тепловых насосов занимаются более 60

фирм. В Японии ежегодный выпуск ТНУ превышает 500 единиц. В Германии ежегодно вводится более 5 тысяч установок. В наибольших масштабах они применяются в Швеции, где общая установленная тепловая мощность ТН превысила 1200 МВт, а самый крупный из них имеет мощность 320 МВт [7]. В Швеции только за 3 года, с 1984 по 1986 г.г., были введены 74 теплонасосные станции мощностью от 5 до 80 МВт [10]. В Швеции и странах Скандинавии эксплуатируются в основном крупные ТНУ. В Швеции уже к 2000 году эксплуатировалось более 110 тысяч теплонасосных станций, 100 из которых имели мощность около 100 МВт и выше. Наиболее мощная ТНС-320 МВт работает в Стокгольме. Эта станция расположена на 6 причаленных к берегу баржах, использует зимой морскую воду с температурой +4 °С, охлаждая её до +2 °С. Себестоимость тепловой энергии на 20 % ниже себестоимости теплоты от газовой котельной. Уровень продажи на шведском рынке тепловых насосов испытывал значительные колебания в период 1986-1999 г.г. Одна из причин роста объема продажи между 1986 и 1999 г.г. – рост цен на нефть, поэтому стало выгодно переходить от жидкого топлива к тепловым насосам. Спад между 1991 и 1994 г.г. был вызван застоєм в строительстве нового жилья, падением цен на нефть, отменой дотаций и исчезновением непрофессиональных монтажников, появившихся в период высокого спроса в 1990-1991 г.г. В результате всего этого объем продажи резко упал в 1992-1995 г.г. Положительная тенденция после 1995 г. обусловлена тремя важными факторами:

1) Субсидиями правительства Швеции на переход от жидкого топлива, электричества к отоплению тепловыми насосами. Эти субсидии оказали положительное воздействие на производство тепловых насосов до конца 1990-х годов;

2) Ростом строительства нового жилья одновременно с ростом связанных секторов рынка;

3) Введением Шведской Ассоциацией Тепловых Насосов (SVER) сертификации монтажных организаций, уровень квалификации которых необходим для установки тепловых насосов. Более того, особое внимание уделялось потребительской надежности и безопасности, для чего Ассоциация предоставляла гарантии и

страховки как часть общего пакета услуг. Целью этого было (и остается до сих пор) завоевание доверия будущих покупателей.

В Швеции у ТН – наибольшие шансы стать заменой жидкому топливу, электричеству, дровам для вновь строящегося жилья и для переоборудования существующих систем отопления. При этом предполагается, что качество производства ТН постоянно улучшается (на всех этапах – от изготовления до монтажа). Пользователь должен чувствовать себя под опекой даже после завершения монтажа. Пакет услуг, включающий гарантии и страховки, разработанный SVER, играет важную роль и способствует завоеванию доверия, необходимого для успеха на рынке. В настоящее время в Швеции тепловыми насосами обогревается 350 тысяч домов.

Более 5 лет назад перспективы ТН в Финляндии были ограничены. Сейчас этот рынок расширяется. Продажа ТН увеличилась на 50...100 % за последние 5 лет. Огромная потребность в энергии, рост стоимости энергоресурсов, защита окружающей среды и уже существующая надежная технология производства ТН – этим объясняется выбор финскими семьями ТН для обогрева новых домов. 5 лет назад только 1 % новых домов отапливался ТН. Сейчас более 10 % финских строителей устанавливают системы, которые снабжают дома дешевой и экологически чистой энергией с помощью ТН. Большая часть из них – ТН, утилизирующие через вертикальные или горизонтальные теплообменники теплоту грунта или одного из 200 тыс. озер Финляндии. В настоящее время на рынок начали поступать ТН, работающие на вентиляционном воздухе. Вполне реально в Финляндии обеспечивать половину энергопотребления на отопление зданий с помощью ТН на наружном воздухе. Кроме того, в жаркие летние дни возможно и кондиционирование воздуха, являющееся другой функцией ТН. Общее количество ТН в Финляндии составляет 10000...15000.

Не менее 25 000 систем водяного отопления ежегодно требует реконструкции. Модернизация этих систем открывает для сбыта ТН большие возможности.

Большими и сложными задачами для отрасли ТН являются подготовка и распределение ин-

формации, обучение монтажного и торгового персонала, поддержание на высоком уровне качества продукции. Это послужило основанием для создания в 1999 г. Финской Ассоциации Тепловых Насосов (SUPLU). В настоящее время SUPLU насчитывает 26 членов.

Ниже приведен краткий обзор состояния и перспектив применения ТН в России [11]. Общая установленная тепловая мощность ТН составляет 65 МВт. За последние 10 лет государственная система разработки, строительства и эксплуатации теплонасосных установок практически прекратила существование.

В ТН, выпускавшихся в бывшем СССР, была использована конструкция холодильных машин, что обуславливало их малый ресурс, так как соотношение давлений нагнетания и всасывания компрессоров ТН в 3 раза больше. Разработкой проектов установки ТН занимался ВНИПИэнергопром, Крымским филиалом которого было разработано 26 проектов с 117 ТН общей тепловой мощностью 165 МВт. Успешно эксплуатировались десятки систем теплоснабжения с ТН. Так, в Ялте работала ТНС теплоснабжения с использованием теплоты морской воды мощностью 2,5 МВт. На Светлогорском целлюлозно-бумажном комбинате Ленинградской области эксплуатировалась ТНУ тепловой мощностью 18 МВт.

Хотя в настоящее время в России нет государственной программы развития теплонасосного теплоснабжения, определенная работа в этом направлении все же ведется. В Минэнерго РФ разработан проект государственного стандарта “Нетрадиционная энергетика. Тепловые насосы для коммунально-бытового водоснабжения”. По заказу Госстроя РФ разработаны “Методические рекомендации по применению ТН и методика расчета технико-экономической эффективности их использования в ЖКХ”. Министерство науки и технологий РФ организовало тендер на создание ТНУ с использованием низкопотенциальных источников теплоты единичной тепловой мощностью до 20 МВт.

В таблице приведены технические и стоимостные характеристики ТН российских производителей. Стоимость российских ТН составляет 90...110 тыс.долл/МВт, что значительно ниже зарубежных. Так, в США стоимость поршневого

ТН равна 279 тыс. долл/МВт, в Европе стоимость винтовых – 137...159 тыс.долл/МВт, турбокомпрессорных – 1500 тыс.долл/МВт.

В России в настоящее время отсутствие большого спроса на ТН объясняется следующими причинами:

- низкой стоимостью топлива, тепловой и электрической энергии;
- отсутствием государственной технической, экономической политики и нормативной базы в этой области;
- недостаточной информацией и малым опытом практического применения;
- низкой надежностью, ограниченностью типоразмеров отечественных конструкций;
- высокой для отечественного рынка стоимостью зарубежных ТН.

Такие же причины в основном до последнего времени сдерживали развитие работ по использованию тепловых насосов и в Украине.

Работы по исследованию и вовлечению в системы теплоснабжения ТНУ в Украине ведутся давно (ИТТФ НАН Украины, Крымское отделение “Укрэнергопроект”, Центр энергосбережения КиевЗНИИЭП и др.). Были доказаны экономические и экологические преимущества ТНС. Однако сравнительно низкая стоимость используемых в стране энергоресурсов сдерживала их широкое применение. Сегодняшние условия, сложившиеся в экономике и энергетике Украины, заставляют по-новому оценить ситуацию и обратить особое внимание на необходимость решения проблемы широкомасштабного внедрения теплонасосного теплоснабжения. Этому способствует целый ряд объективных условий.

Во-первых, как уже отмечалось, не уменьшающаяся в перспективе доля производства электроэнергии на АЭС (для привода ТН).

Во-вторых, использование таких систем теплоснабжения позволит значительно улучшить экологическую обстановку в населенных пунктах за счет ликвидации мелких котельных и экономии топлива на производство теплоты. Это особенно важно в условиях, требующих перевода котельных с газового топлива на другие (местные) виды топлива.

В-третьих, отечественные высокотехнологические производственные объединения имеют

Таблица.

Производитель	Марка	Типоряд расчетной теплопроизводительности, кВт	Расчетная температура для теплоснабжения, °С	Стоимость в долл. на 1 кВт расчетной тепловой мощности	Стадия производства
ФГУП “Рыбинский завод приборостроения”	АТНУ	10,3 12, 14	55	От 291 (АТНУ-10) до 321 (АТНУ-14)	По отдельным заказам
ЗАО ОКБ “Карат” (Санкт-Петербург)	ТНУ-КР	5, 10, 18, 25, 30, 50, 60	55	От 1000(ТН-КР-5) до 300 (ТН-КР-6)	То же
ЗАО “Полад” (Тольятти)	ТХУ, НКТ	8, 16, 17,6, 29,5, 40	60	Данные отсутствуют	— “ —
ЗАО НПФ “Тритон-ЛТД” (Нижний Новгород)	НТПБ, НТВ	10, 20, 35, 60, 80, 150, 300, 500, 1000, 2200, 5000	58	От 420 (НТПБ-16) до 90 (НТК-500)	— “ —
Московский завод “Компрессор”	НТ	370, 520	52	От 294 (НТ-280-4-9-08) до 346 (НТ-410-4-9-08)	— “ —
ЗАО “Энергия” (Новосибирск)	НТ	110, 280, 300, 500, 1000, 3000	80	От 163,6 (НТ-110) до 83,3 (НТ-300)	Серийное производство

необходимый потенциал и могут обеспечить выпуск ТН, в т.ч. и на экспорт.

В-четвертых, Украина имеет необходимый научный, преподавательский и инженерно-технический потенциал, способный обеспечить разработку производства, реализацию проектов и подготовку соответствующих кадров для освоения и эксплуатации новых теплоснабжающих систем.

В настоящее время в Украине уже реализуется ряд проектов с включением ТНУ как варианта технического решения теплоснабжения коттеджа, многоквартирного дома [10], “энергоэффективной усадьбы”[12]. Но это пока единичные, частного характера проекты, не затрагивающие коммунальную теплоэнергетику.

Исходя из основных положений “Энергетической стратегии Украины на период до 2030 года”, в том числе структурного совершенствования

электроэнергетики и теплоснабжения, необходимо реализовать ряд мер, направленных на решение задач, указанных в Энергетической стратегии:

1. Принять “Закон о системах электроотопления”, формирующий четкое понятие “теплоэлектрогенераторы” и устанавливающий право государственного ведения ими с созданием механизмов приоритетного, экономически обоснованного их использования.

2. Учитывая необходимость проведения всемерной экономии и энергоэффективного использования энергоресурсов (особенно импортируемого природного газа) и учитывая мировой опыт децентрализованного теплоснабжения с использованием ТН, необходимо как можно скорее разработать и включить организационные и экономические механизмы по реализации нового концептуального подхода к созданию систем теплонасосного теп-

лоснабжения в рамках специальной целевой программы (возможное название программы “Экологически чистое теплоснабжение”).

Программой должно быть предусмотрено техническое и нормативно-правовое обеспечение новых решений в теплоснабжении при условии непосредственной поддержки стартовых усилий в данном направлении со стороны государства. Такая поддержка должна включать не только прямые инвестиции в производство ТН, но и внедрение налоговых льгот и кредитных ставок производителям и льготных тарифов на электроэнергию потребителям теплонасосной техники, а также государственную защиту инвесторов, проведение на государственном уровне поддержки научных кадров, занятых этими проблемами, всех методов пропаганды достижений в этой отрасли.

Целесообразно начать освоение новых подходов к теплоснабжению с разработки и принятия региональной программы для Автономной Республики Крым. Именно в этом регионе, учитывая его курортный профиль, должны в широком масштабе внедряться экологически щадящие и энергоэффективные технологии теплоснабжения с использованием ТН.

Демонстрацией первых проектов в рамках программы по модернизации коммунальной теплоэнергетики АР Крым может стать “Программа реконструкции коммунальной теплоэнергетики г. Керчи”. Тепловые нагрузки города могут быть покрыты за счет внедрения новых технологий в системах теплоснабжения с использованием теплонасосных систем.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Энергетическая стратегия Украины на период до 2030 года.* / [www.kmu.gov.ua](http://www.kmu.gov.ua).
2. *Фручи Ганс-Ульрих.* Повышенный отопительный потенциал газового и жидкого топлива

при применении термодинамических методов отопления // *Обзор АББ.* – № 4, 1991. – С.13–20.

3. *Мартыновский В.С.* Циклы, схемы и характеристики термотрансформаторов /под ред. Бродянского В.М., М.: Энергия, 1979. – 128 с.

4. *Техническая термодинамика и теплопередача.* Учебник для вузов // В.И.Кушнырев, В.И.Лебедев, В.А.Павленко. – М.: Стройиздат, 1986. – 446 с.

5. *Соколов Е.Я., Бродянский В.И.* / Энергетические основы трансформации тепла и процессов охлаждения. М.: Энергия, 1981. – 237 с.

6. *Бродянский В.М.* Вечный двигатель прежде и теперь. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 256 с.

7. *Янтовский Е.И.* / Потоки энергии и эксергии. – М.: Наука, 1988. – 144 с.

8. *Эксергетические расчеты технических систем:* Справ. пособие / Бродянский В.И., Верхивкер Г.П., Карчев Я.Я. и др.: Под ред. Долинского А.А., Бродянского В.М. АН УССР. Ин-т технической теплофизики. – Киев: Наукова думка, 1991. – 360 с.

9. *Мхитарян Н.М.* / Энергосберегающие технологии в жилищном и гражданском строительстве. – Киев: Наукова думка, 2000. – 412 с.

10. *Овчаренко С.В., Овчаренко А.В.* Використання теплових насосів. // *Холод*, № 2, 2006. – С. 34–36.

11. *Бутузов В.А.* Перспективы применения тепловых насосов // *Промышленная энергетика*, № 10, 2005. – С. 5–7.

12. *Агеева Г.Н., Лантух Н.Н., Щербатый В.С.* Комбинированная солнечно-теплонасосная установка как вариант технического решения теплоснабжения “энергоэффективной усадьбы” // *Сантехника – отопление – кондиционирование*, № 12, (24), 2005. – С. 36–40.

*Получено 23.03.2006 г.*