

## ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ В МИРЕ И В РОССИИ

### EXPERIENCE IN THE USE OF HEAT PUMPS IN THE WORLD AND IN RUSSIA

*A. Podskrebkyn  
V. Dyahylev  
S. Polishchuk*

#### Annotation

The article is devoted to problems of energy conservation and the search for effective, alternative sources of heat energy. One such source is the use of geothermal and solar energy using heat pumps (HS). This method is environmentally friendly and fairly cheap. The author of a review of heat pumps used in the world practice. Also shown are the benefits of heat pump installations over natural energy sources and prospects of their use in Russia.

**Keywords:** energy, the prospects of using heat pumps, heat sources.

*Подскребкин Александр Данилович  
К.т.н., доцент, филиал Тюменского  
нефтегазового университета,  
г. Нижневартовск  
Дягелев Валерий Федорович  
К.т.н., доцент, филиал Тюменского  
нефтегазового университета,  
г. Нижневартовск  
Полищук Сергей Тимофеевич  
К.т.н., доцент, филиал Тюменского  
нефтегазового университета,  
г. Нижневартовск*

#### Аннотация

Статья посвящена проблемам энергосбережения и поискам эффективных, альтернативных источников тепловой энергии. Одним из таких источников является использование геотермальной и солнечной энергии с помощью тепловых насосов (ТН). Этот метод экологически безопасный и достаточно дешевый. Автором проведен обзор тепловых насосов, используемых в мировой практике. Также показаны преимущества теплонасосных установок над природными источниками энергии и перспективы их использования в России.

#### Ключевые слова:

Энергосбережение, перспективы использования, тепловые насосы, тепловые источники.

#### Вступление

Исследовано состояние рынка тепловых насосов в мире и России, а также факторы, которые замедляют их внедрения, типы тепловых насосов (ТН), схемы и принцип действия, были рассмотрены источники термальной энергии. Тепловая энергия уже много лет используется для отопления зданий различного назначения и горячего водоснабжения в ряде стран Западной Европы, США, Японии и других [1–2,12].

Именно тепловые насосы работают в привычных для нас холодильниках и кондиционерах. Эти устройства являются настолько надежными, удобными и привычными, что мы даже не обращаем внимание на их работу. Вообще использование теплонасосных технологий для теплоснабжения достаточно широко распространенное в мире, входит практически в состав всех энергосберегающих программ, которые реализуются за рубежом. В развитии теплонасосных установок (ТНУ) можно выделить 4 основных периода. В 1927 – 1946 гг. происходило создание экспериментальных и, в большинстве, незакон-

мических установок. В 1947 – 1962 гг. Проводилась разработка, массовое производство и широкое внедрение реверсивных ТН – круглогодичных кондиционеров. Далее (1963 – 1971 гг.) наблюдался резкий спад спроса на ТН, в Европе они даже стали почти забытыми. 1972 год характеризуется возрождением ТН, резким ростом исследований по совершенствованию их конструкций, внедрению в различные отрасли потребления [3–4,6].

Сегодня в мире эксплуатируется более 130 млн. ТНУ различного назначения. Общий объем проданных ТН за рубежом составляет 125 млрд. долларов США. Распределение ТНУ по отраслям применения приведен на рис. 1 [4].

По данным Международного Энергетического Агентства, в 2020 году в развитых странах доля отопления и горячего водоснабжения за счет ТН будет составлять 75% [1–2,7].

В связи с тем, что экономически доступные ресурсы органического топлива в мире исчерпываются, были



Рисунок 1. Распределение тепловых насосов по отраслям применения.

срочно разработаны государственные программы экономики энергоресурсов. Они предусматривают увеличение капиталовложений на создание и внедрение ТНУ. Ведь ТНУ имеют ряд преимуществ по сравнению с традиционными источниками энергии.

А именно:

- ◆ существенное снижение расходов на отопление и кондиционирование;
- ◆ отсутствие необходимости газа или другого воспламеняющегося сырья; использование возобновляемых источников энергии;
- ◆ экологическая безопасность (отсутствие в тепловых насосах процесса горения приводит к уменьшению загрязнения воздушного бассейна);
- ◆ обеспечение стабильной температуры в течение всего года, универсальность ТН как генераторов теплоты (они могут использоваться как различные подогреватели);
- ◆ подогреватели и охладители одновременно или последовательно, например, для нагрева воздуха помещений зимой и охлаждения летом) [4,8–9,12].

К сожалению, в российский рынок тепловых насосов довольно скромный. Даже по самым смелым оценкам реализовано не более тысячи единиц. Для сравнения, в Европе этот показатель колеблется в пределах миллиона. Нужно также отметить, что на рынке России представлены как именитые европейские бренды, так отечественные. Недостатка в оборудовании китайского производства также не наблюдается.

Существует несколько сдерживающих аспектов развития рынка тепловых насосов. Но главным из них является невысокая стоимость эксплуатации оборудования, которое использует газ с магистрали. Также требуемого внимания не уделяет государство, так как нет ни одной эффективной программы поддержки потребителей, которые используют тепловые насосы.

Несмотря на это, есть один важный аргумент, который подталкивает потребителя к выбору теплонасосного оборудования. Это высокая стоимость подключения к магистральному природному газу. В результате, тепловой насос используют как теплогенератор, который компенсирует потери в зимний период года.

Во всех странах мира внедрение теплонасосных технологий происходит при значительной государственной поддержке в виде введения двухставочного тарифа на электроэнергию, выделение субсидий при покупке теплонасосной техники, налоговых или кредитных льгот [2,4,7].

Цель работы. Исследование типов тепловых насосов, схем и принципов их действия, преимуществ теплонасосных установок над природными источниками энергии, и перспективы их использования в России.

Результаты исследования. Тепловой насос – это холодильная машина, которая осуществляет обратный термодинамический цикл, в котором рабочее тело (хладагент) отбирает тепло от среды с низкой температурой и передает его теплоносителю с более высокой температурой, за счет затраченной в цикле энергии (преимущественно в виде работы). ТН широко применяются в децентрализованных системах отопления и вентиляции зданий благодаря своей высокой эффективности, надежности и экологической чистоте.

За счет того, что ТН не производит, а "перекачивает" низкотемпературное тепло на более высокий температурный уровень, он может поставлять в 3 – 10 раз больше тепловой энергии, чем потребленной электрической.

ТН можно классифицировать по следующим признакам:

- ◆ по принципу действия; по схеме применения;
- ◆ по источникам низкотемпературной теплоты

(ИИТ), используемым в процессе;

- ◆ по сочетанию ИИТ со средой, которая нагревается в ТН;
- ◆ по источнику затраченной энергии [4].

По принципу действия ТН бывают парокompрессионные, абсорбционные и термоэлектрические. Схемы применения являются моновалентными (только ТН) и бивалентными (ТН в сочетании с дополнительным источником тепла).

Источником низкотемпературной тепловой энергии ТНУ может быть тепло, как природного, так и искусственного происхождения.

*В качестве природных источников могут выступать:*

- ◆ тепло земли (грунта);
- ◆ подземные воды (грунтовые, артезианские, термальные) наружный воздух; поверхностные воды (река, пруд, море);
- ◆ солнечная энергия.

*Как искусственные источники низкотемпературного тепла используют:*

- ◆ вентиляционный воздух;
- ◆ канализационные стоки (сточные воды);
- ◆ очищенную воду станции аэрации;
- ◆ промышленные выбросы;
- ◆ нагретые продукты технологических процессов промышленности и т.п. [3–4,9].

В настоящее время наиболее используемыми источниками низкотемпературного тепла является вода, атмосферный воздух, почва и водяной пар (рис. 2) [4].

Важнейшим критерием, по которому проводят клас-

сификацию ТНУ, является комбинация источника низкотемпературного тепла и теплоносителя системы распределения тепла (или холода).

*В зависимости от сочетания этих параметров ТНУ бывают:*

- ◆ типа "воздух–воздух" – как внешним источником, так и теплоносителем внутри дома является воздух;
- ◆ типа "вода–воздух" – источником низкопотенциального тепла является вода;
- ◆ типа "грунт–воздух" – источником тепла выступает тепло почвы, а система распределения тепла в помещении воздушная;
- ◆ типа "воздух–вода" – такие системы достаточно часто применяются, когда в домах обустраивается водяная система отопления;
- ◆ типа "вода–вода" – внешним источником и теплоносителем внутри дома является вода;
- ◆ типа "грунт–вода" – грунтовая теплонасосная система с водяной системой отопления внутри дома [4,8].

По источникам затраченной энергии различают ТН, которые используют для работы электроэнергию, топливо того или иного вида, вторичные энергетические ресурсы [4].

В соответствии с изображенным принципом действия ТН берет тепловую энергию с одного места, переносит (перекачивает) ее и отдает в другом месте. Например, в обычном холодильнике тепло отбирается морозильной камерой с холодильника и выбрасывается в помещение кухни, при этом задняя поверхность холодильника нагревается.

Принципиальная схема ТН изображений на рис. 3 [10]:

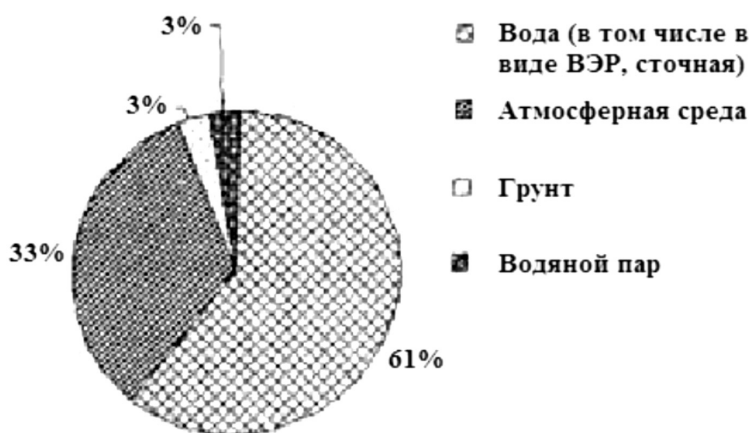
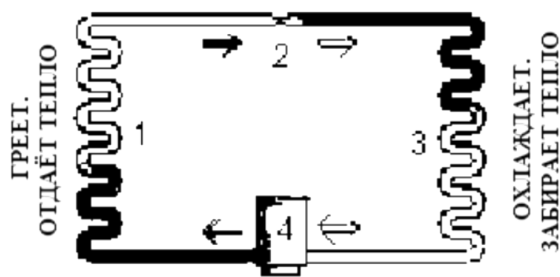


Рисунок 2. Распределение тепловых насосов по источникам низкотемпературной энергии.



1 - горячий теплообменник; 2 - расширитель;  
3 - холодный теплообменник; 4 - компрессор

Рисунок 3. Распределение тепловых насосов по источникам низкопотенциальной энергии.

При отоплении геотермальными теплонасосами внешний блок устройства помещается в почву или погружается в водоем рядом с домом. При этом, независимо от температуры воздуха на улице, внешний блок остается свободным ото льда, и эффективность теплопередачи остается высокой. Принцип работы геотермальных теплонасосов основывается на отборе устройством тепла из почвы или воды и передачи собранного тепла системе отопления дома. Для сбора тепла незамерзающая жидкость течет по трубе, расположенной в почве или водоеме возле дома, и поступает в ТН. Тепловой насос, подобно холодильнику, охлаждает незамерзающую жидкость и отбирает от нее тепло, при этом жидкость охлаждается ориентировочно на 5 °С. Далее жидкость возвращается в трубу, восстанавливает свою температуру и снова поступает к теплонасосу. Отобранное насосом тепло передается системе отопления и / или системе подогрева горячей воды [10].

Технически есть возможность отбирать тепло даже из подземной воды. В этом случае подземная вода с температурой около 10 °С подается из скважины к теплонасосу, который охлаждает воду до 1 ... 2 °С и возвращает воду под землю.

Тепловой энергией обладает любая среда, имеющая температуру выше -273 °С. То есть ТН может отобрать тепло в земле, водоемах, льде, подземной скале, воде и т.д. [5-6,10].

В климатических условиях России для отопления здания энергия преимущественно берется из грунта (или водоема). Если же здание, например, летом, нужно охлаждать, то происходит обратный процесс: тепло забирается из здания и сбрасывается в землю (водоем). Тот самый ТН может работать зимой на отопление, а летом – на охлаждение дома. Очевидно, что ТН одновременно может выполнять и другие сопутствующие функции – нагревать

воду для горячего бытового водоснабжения, подогревать бассейн, охлаждать, например, ледовый каток, подогревать крыши и дорожки, чтобы освободить их ото льда, и тому подобное. То есть это единственное устройство может взять на себя все функции по тепло – холодоснабжению отдельного здания или комплекса зданий [7].

Обмен теплом с окружающей средой геотермальными ТН осуществляют такими основными способами.

Насос с открытым циклом: из подземного потока (пльвуна) забирается чистая вода, подается к расположенному в доме ТН, где она отдает / забирает тепло в ТН и возвращается в подземный поток на некотором расстоянии от места забора. Преимуществом такого способа является возможность одновременного использования подземной воды для водоснабжения дома. Такие системы являются очень эффективными, ведь температура подземной воды является относительно высокой и круглогодично стабильной. Использование воды из скважины не вредит грунтовым водам, не изменяет их уровня в водном горизонте, поскольку открытую систему можно рассматривать как сообщающиеся сосуды, где вода, отбирается из одной скважины, возвращается на свое место через вторую скважину. В соответствии с нормативами, построенные скважины обеспечивают безопасную для окружающей природы и стабильную работу системы отопления.

Насос с замкнутым циклом и расположенным в воде теплообменником: специальная жидкость (теплоноситель) прокачивается по коллекторам (трубам), что находится в водоеме, и отдает или забирает тепло у водоема. Дома целесообразно отапливать энергией открытого водоема в том случае, если они находятся от водоема на расстоянии ближе 100 м, и глубина водоема, а также ее береговая линия соответствуют требованиям, необходимым для обустройства коллектора. Преимуществом такого способа является относительная дешевизна.

Насос с замкнутым циклом и расположенным в почве горизонтальным теплообменником: трубки, в которых прокачивается теплоноситель, расположенные горизонтально на глубине не менее 1 м от поверхности почвы. Главной угрозой при эксплуатации такого устройства является возможная неосторожность при проведении земляных работ в зоне нахождения поверхностного коллектора. Правильно выбранный по размерам и правильно уложенный почвенный коллектор не влияет на рост растений и экологические условия окружающей среды.

Насос с замкнутым циклом и вертикальным теплообменником: трубы, по которым прокачивается теплоноситель, расположены вертикально в земле и уходят вглубь земли до 50-200 м. Как известно, на глубине 15-

20 м от поверхности почва имеет стабильную температуру 10–12 °С независимо от времени года. С увеличением глубины температура почвы повышается. Этот способ обеспечивает наиболее высокую эффективность работы теплового насоса, малый расход электроэнергии и дешевое тепло. Так, 1 кВт электроэнергии обеспечивает до 5 кВт тепловой энергии. Однако этот способ требует больших начальных капиталовложений [8,10].

*По направлениям применения ТН в России, имеются следующие перспективы:*

1. В России с промышленными и коммунально-бытовыми сточными водами сбрасывается около 70 тыс. МВт / год тепла, которое может использоваться для ТН в теплоснабжении коммунальных и промышленных объектов.
2. Электростанции (в том числе и атомные) сбрасывают для охлаждения воду с температурой 30 °С, которую тоже можно использовать с помощью ТН.
3. Использование в качестве источника низкопотенциальной энергии тепла земли, рек и морей [7–8].

На примере Сургутской ГРЭС–1 был проведен анализ возможностей использования ТН и экономический эффект от такого использования в совместной учебно-научно-исследовательской лаборатории Института гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН и Королевского технологического института (КТИ, Стокгольм, Швеция) [11]. Для уменьшения потребления природного газа на ТЭЦ–5 предложено использовать низко потенциальное тепло охлаждающей воды конденсатора и других тепловых стоков с помощью тепловых насосов. Экономия органического топлива с помощью ТН происходит за счет полезного применения сбрасываемого низкопотенциального тепла, что даст возможность производить тепловую энергию для нужд центрального теплоснабжения, охлаждать воду до температуры природного источника и уменьшить влияние на биологические организмы реки. Это даст возможность получить около 200 Гкал / ч тепловой энергии, что приведет к:

- ◆ большей энергетической независимости столицы;
- ◆ экономии средств на закупку природного газа и эксплуатацию котельных;
- ◆ стабильного и качественного снабжения жителей города, предприятий и организаций теплом и горячей водой в отопительный сезон;
- ◆ уменьшение объемов природного газа, потребляемых водонагревательными котлами;
- ◆ достижение значительного экологического эффекта, поскольку благодаря широкому применению ТНУ, выбросы CO<sub>2</sub>, которые влияют на "парниковый эффект", а также SO<sub>2</sub> и NO<sub>x</sub> значительно уменьшатся;
- ◆ снижение влияния сточных станционных вод на поверхностные воды [11].

Теплонасосные системы являются относительно дорогими, и о целесообразности их применение для теплоснабжения можно говорить, исходя из сравнения с традиционными альтернативными видами источников энергии по техническим, экономическим, технологическим и экологическим факторам.

Исследователями Института гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН и Морской Академии Щецина (Польша) был проведен эксергоэкономический сравнительный анализ традиционных и теплонасосных систем теплоснабжения [12–13]. В качестве объекта локального теплоснабжения был рассмотрен комплекс жилых домов, для которого суммарная потребность в теплоте составляет 3 МВт. Анализ проводился на базе трех систем традиционного теплоснабжения на основе бойлеров, в которых горючим выступали: электроэнергия (система 1), жидкое топливо (нефть) (система 2) и газ (система 3), а также теплонасосной системы: ТН и солнечный коллектор (система 4).

*Для термодинамических моделей систем теплоснабжения использовались такие данные:*

- ◆ температура теплоносителя для пользователя ТГОР = 120 °С;
- ◆ температура теплоносителя, выходящего из солнечного коллектора, ТХОЛ = 8 °С (солнечная энергия рассматривается как низко потенциальный источник энергии для испарения ТН);
- ◆ КПД бойлера на жидком топливе  $\eta = 0,75$ , на газе  $\eta = 0,70$ ;
- ◆ адиабатический КПД компрессора теплового насоса  $\Delta = 0,85$ , температурный напор в конденсаторе и испарителе  $\Delta T = 10\text{K}$ , рабочее вещество – R718. Для создания экономических моделей систем теплоснабжения брались величины капитальных затрат на оборудование, средние цены на топливо (жидкое топливо – 2,2 о 10–6 у.е. / кДж;
- ◆ газ – 3,0 о 10–6 у.е. / кДж; электроэнергию – 3,48 о 10–2 у.е. / кВт о ч).

Результаты эксергоэкономических расчетов представлены в таблице 1 в графе "Базовый вариант". Сравнительный анализ при изменении КПД бойлеров:  $\eta = 65\%$  для старого типа оборудования и  $\eta = 90\%$  для нового типа оборудования приведен в графах 2 и 3. Был проведен сравнительный анализ по "базовому варианту" с предположением, что произойдет повышение цен на жидкое топливо в 2,3 раза, на газ – в 1,3 раза и на электроэнергию – в 1,5 раза. Все результаты сравнительного анализа занесены в табл.1 [12].

Из анализа табл. 1 были сделаны следующие выводы. Для "базового варианта" эффективность теплонасосной системы незначительно превышает эффективность сис-

Таблица 1.

Ексергоэкономический анализ традиционных и теплонасосной систем теплоснабжения.

	"Базовый вариант"		КПД бойлеров 65%		КПД бойлеров 90%		Повышение цен на первичное топливо	
	Годовая стоимость теплоснабжения, у.е / год	Сравнительный анализ	Годовая стоимость теплоснабжения, у.е / год	Сравнительный анализ	Годовая стоимость теплоснабжения, у.е / год	Сравнительный анализ	Годовая стоимость теплоснабжения, у.е / год	Сравнительный анализ
Система 1	848 901	-70%	-	-	-	-	-	-
Система 2	266 030	-3,6%	286 048	-10,0%	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

темы 2, которая использует жидкое топливо. Существенным недостатком системы 2, является отсутствие системы магистральной доставки топлива к потребителю, то есть возникает проблема хранения жидкого топлива с проведением обязательных мероприятий по технике безопасности. Понятно, что эти расходы должны быть учтены как дополнительные капитальные расходы и расходы на обслуживание. Общие суммарные затраты "система 2 + система хранения жидкого топлива" значительно увеличатся, следовательно, теплонасосная система однозначно окажется эффективнее.

Анализ влияния 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 ТН, однако, принимая во внимание затраты на хранение жидкого топлива, система 4 становится более экономически выгодной. Разница в результатах анализа для системы 3 и теплонасосной системы в  $-2,6\%$  незначительная, поэтому система 3 также представляет серьезную альтернативу ТН.

А сравнительный анализ, который предусматривает изменение цен на топливо, демонстрирует преимущества теплонасосной системы теплоснабжения [12–13].

Выводы

Из анализа результатов ексергоэкономического сравнительного анализа традиционных и теплонасосной сис-

тем теплоснабжения (в качестве примера был взят комплекс жилых домов) по четырем критериям следует, что теплонасосная система является реальной альтернативой традиционному теплоснабжению. Несмотря на то, что теплонасосные системы являются относительно дорогими, годовая стоимость теплоснабжения ниже, чем у традиционных систем теплоснабжения.

*Преимуществами применения теплового насоса являются:*

- ◆ существенное снижение расходов на отопление и кондиционирование;
- ◆ отсутствие в необходимости газа или другого воспламеняющегося носителя;
- ◆ использование возобновляемых источников энергии;
- ◆ экологическая безопасность; обеспечение стабильной температуры в течение всего года.

Для широкого внедрения возобновляемых источников энергии, в частности, ТН, во всех отраслях хозяйства, необходимо разработать более детальную и эффективную правительственную программу, в которой следует предусмотреть систему мер по стимулированию производителя и потребителя, как это делается во всем мире.

В связи с изменением цен на энергоносители тепловые насосы так же, как альтернативные и возобновляемые источники энергии уже сегодня актуальны для России. Использование геотермальных ТН для отопления и горячего водоснабжения отдельных зданий или их групп, в геоклиматических условиях России, имеет достаточно

широкие перспективы. Особенно учитывая преимущества теплонасосных систем по сравнению с традиционными, источники которые из-за активного использования

исчерпываются, растут расходы на их добычу или приобретение и переработку и которые имеют негативные последствия для окружающей среды.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Мировая энергетика: прогноз развития до 2020 г. / [под ред. Ю.Н. Старшинова]; пер. с англ. – М.: Энергия, 1980. – 256 с.
2. Мазур В.А. Тепловые насосы – шаг в будущее столетие / В.А. Мазур // Холодильная техника и технология. – 2012. – №57. – С. 19 – 22.
3. Рей Д. Тепловые насосы / Д.Рейд, Д. Макмайкл. – М.: Энергоиздат, 1982. – 224 с.
4. Ткаченко С.И. Парокомпрессионные теплонасосные установки в системах теплоснабжения: монография / С.И. Ткаченко, О.П. Остапенко. – Винница: ВНТУ, 2009. – 176 с.
5. Хайнрих Г. Теплонасосные установки для отопления и горячего водоснабжения / Г. Хайнрих, Х. Найорк, Н. Нестлер; пер. с нем. Н.Л. Кораблевой, Е.Ш.Фельдмана; под ред. Б.К.Явнеля. – М.: Стройиздат, 2014. – 351 с.
6. Янтовский Е.И. Парокомпрессионные теплонасосные установки / Е.И.Янтовский, Ю.В.Пустовалов. – М.: Энергоиздат. – 2012. – 144 с.
7. Слепец А.В. Рынок тепловых насосов / И.В. Слепец // Новая тема. – 2008. – №4. – С. 50 – 51.
8. Зубков В.А. Использование тепловых насосов в системах теплоснабжения / В.А. Зубков // Теплоэнергетика. – 2013. – №2. – С. 17 – 20.
9. Eric Granryd. Refrigerating Engineering: Part I // Publishing of Department of Energy Technology, Division of Applied Thermodynamics and Refrigeration, Royal Institute of Technology, Stockholm. – 2005. – 43 p.
10. Принцип роботи геотермального теплового насосу / О.В.Кучерук // ТОВ "Теплові насоси". – К.: –2009. – С. 11–14.
11. Никифорович Е.И. Перспективы использования тепловых насосов для утилизации низкопотенциального тепла/ Е.И. Никифорович, Ю.М. Литвинюк // Новая тема. – 2012. – №4. – С. 13 – 16.
12. Долинский А.А. Альтернативное теплоснабжение на базе тепловых насосов: критерии оценки/ А.А. Долинский, Б.Х. Драганов, Т.В. Морозюк // Промышленная теплотехника. – 2007. – №6. – С. 67 – 71.
13. Тсатсаронис Дж. Взаимодействие термодинамики и экономики для минимизации стоимости энергопреобразующей системы / Под ред. Т.В. Морозюк. – Одесса: Негоциант. – 2014. – 65 с.

© А.Д. Подскребкин, В.Ф. Дягелев, С.Т. Полищук, ( podskrebkyn\_ad@list.ru ), Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики».

