



ISSN 1819-432X print / ISSN 1993-3495 online

**СУЧАСНЕ ПРОМИСЛОВЕ ТА ЦИВІЛЬНЕ БУДІВНИЦТВО**  
**СОВРЕМЕННОЕ ПРОМЫШЛЕННОЕ И ГРАЖДАНСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО**  
**MODERN INDUSTRIAL AND CIVIL CONSTRUCTION**

ТОМ 4, N3, 2008, 113-118

УДК 621.34+621.57

## **ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ГЕОТЕРМАЛЬНИХ ТЕПЛОВИХ НАСОСІВ (ГТН) З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕПЛОТИ ҐРУНТІВ ТЕРИКОНІВ ДЛЯ АВТОНОМНОГО ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ**

**С.І. Монах, Р.Е. Бафталовський**

*Донбаська Національна Академія Будівництва і Архітектури*

*вул. Державіна 2, 86123, м. Макіївка, Україна.*

*E-mail: spgs@inbox.ru*

*Отримана 28 серпня 2008; прийнята 24 вересня 2008.*

**Анотація.** Аналіз можливих галузей застосування технологій, що використовують теплонасосні установки, показує, що найбільш перспективними напрямками їх впровадження є опалення, гаряче водопостачання, кондиціювання, підігрів доріжок, переходів взимку, підігрів полів на відкритих стадіонах. Використання теплоти відвальних ґрунтів териконів в якості джерела низькопотенціальної теплоти з допомогою геотермальних теплових насосів дуже актуально в Донбасі. Можливо використовувати теплоту відвальних ґрунтів потухлих териконів, а також так званих «не горящих». Якщо необхідно використати теплоту ґрунтів териконів, які ще горять в своїй товщі, можливо використання термосифонів як засобів для зняття теплової енергії. В залежності від характеристик самого терикону для збору теплоти ґрунтів можливо використовувати і горизонтальні, і вертикальні теплообмінники коаксіального типу. Геотермальна теплонасосна установка по суті є парокомпресійною холодильною машиною. Застосування запропонованої схеми геотермального теплового насосу перспективно ще й тому, що питання різкого сезонного коливання температур ґрунтів териконів не має місця.

**Ключові слова:** теплопостачання; теплонасосні установки; геотермальний тепловий насос; джерело низькопотенційної теплоти; відвальні породи териконів; горизонтальні і вертикальні теплообмінники коаксіального типу; парокомпресійна холодильна машина; сезонне коливання температур ґрунтів.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ГЕОТЕРМАЛЬНЫХ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ (ГТН) С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕПЛОТЫ ГРУНТОВ ТЕРРИКОНОВ ДЛЯ АВТОНОМНОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ**

**С.И. Монах, Р.Э. Бафталовский**

*Донбасская Национальная Академия Строительства и Архитектуры*

*ул. Державина 2, 86123, г. Макеевка, Украина.*

*E-mail: spgs@inbox.ru*

*Получена 28 августа 2008; принята 24 сентября 2008.*

**Аннотация.** Анализ возможных областей применения технологий, использующих теплонасосные установки, показывает, что наиболее перспективными направлениями их внедрения являются: отопление, горячее водоснабжение, кондиционирование, обогрев дорожек и переходов в зимнее время, подогрев полей на открытых стадионах. Использование теплоты отвальных пород терриконов в качестве источника низкопотенциальной тепловой энергии посредством геотермальных тепловых насосов (ГТН) особенно актуально в Донбасском регионе. Возможно использовать теплоту отвальных ґрунтів

терриконов как потухших, так и не горящих. В случае необходимости использования теплоты отвалов, горящих в своей толще, авторами предложено использование термосифонов, иногда применяющихся для тушения внутриотвальных возгораний. В зависимости от характеристик используемого террикона для отбора теплоты грунтов возможно применение как горизонтальных, так и вертикальных грунтовых теплообменников коаксиального типа. Геотермальная теплонасосная установка по сути является парокомпрессионной холодильной машиной. Применение предложенных схем тепловых насосов перспективно еще и потому, что в этом случае практически снимается вопрос резкой сезонной неравномерности температур обычных грунтов, так как температура воздуха на аккумуляцию теплоты окисления при больших массах нагревающейся породы влияет незначительно.

**Ключевые слова:** теплоснабжение; теплонасосные установки; геотермальный тепловой насос; источник низкопотенциальной теплоты; отвальные породы терриконов; горизонтальные и вертикальные грунтовые теплообменники коаксиального типа; парокомпрессионная холодильная машина; сезонная неравномерность температур грунта.

## RESEARCH OF APPLICATION OPPORTUNITY OF GEOTHERMAL PUMPS WITH GROUND WARMTH FOR AUTONOMIC HEATING SUPPLY

S.I. Monah, R.E. Baphtalovsky

*Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture*

*Derzhavin str. 2, 86123, Makeyevka, Ukraine.*

*E-mail: spgs@inbox.ru*

*Received 28 August 2008; accepted 24 September 2008.*

**Abstract.** The analysis of technological application of possibilities, utilizing thermo-compressor settings, proves that the most perspective directions of their introduction are the following: heating, hot water-supply, conditioning, paths and passages heating of in winter fields, warming up on the open stadiums. Use of warmth dump rocks as the source of lowpotential of thermal energy by means of geothermal heat-pumps (GTP) which is especially essential in the Donbass region. It is possible to utilize the warmth of dump grounds, both extinct and not burning. In the case of using necessity of dumps warmth, conflagrant in their thickness, authors offer the thermosiphons applying, sometimes used for dump exiting of inflammability. Depending on descriptions of used refused for the selection of ground warmth it is possible application of both horizontal and vertical ground heatexchanger of coaxial type. Geothermal thermal pump setting in fact, is steamcompressional refrigerator. Application of the offered charts for thermocompressor is perspective because in this case the season temperature disproportion of ordinary soils, because the air temperature for accumulation of oxidization warmth at large masses of the heating rock influences insignificantly.

**Keywords:** thermosupply, thermal pumps settings, geothermal thermocompressor, source of lowpotential warmth, dump grounds, horizontal and vertical ground heatexchangers of coaxial type, steam compressional refrigerator, season of temperatures disproportion of soil.

Перспективность развития тепловых насосов в настоящее время ни у кого не вызывает сомнения.

Анализ возможных областей применения технологий, использующих теплонасосные установки, показывает, что наиболее перспективными направлениями внедрения являются: отопление, горячее водоснабжение, кондиционирование, обогрев дорожек и переходов в зимнее время, подогрев полей на открытых стадионах и т.п.

В мировой энергетике широко используются системы сбора как высокопотенциальной, так и низкопотенциальной теплоты грунта. Особенно важным является опыт использования низкопотенциальной теплоты. Данные, оценивающие мировой уровень использования низкопотенциальной тепловой энергии грунта посредством ГТН, приведены в таблице 1.

В качестве источника низкопотенциальной тепловой энергии обычно используется грунт

Таблица 1. Мировой уровень использования низкопотенциальной тепловой энергии грунта.

Страна	Установленная мощность оборудования, МВт	Произведенная энергия, ТДж/год
1	2	3
Австралия	24,0	57,6
Австрия	228,0	1094,0
Болгария	13,3	162,0
Великобритания	0,6	2,7
Венгрия	3,8	20,2
Германия	344,0	1149,0
Греция	0,4	3,1
Дания	3,0	20,8
Исландия	4,0	20,0
Италия	1,2	6,4
Канада	360,0	891,0
Литва	21,0	598,8
Нидерланды	10,8	57,4
Норвегия	6,0	31,9
Польша	26,2	108,3
Россия	1,2	11,5
Сербия	6,0	40,0
Словакия	1,4	12,1
Словения	2,6	46,8
США	4 800,0	12 000,0
Турция	0,5	4,0
Финляндия	80,5	484,0
Франция	48,0	255,0
Чехия	8,0	38,2
Швейцария	300,0	1 962,0
Швеция	377,0	4 128,0
Япония	3,9	64,0
<b>Всего:</b>	<b>6 675,4</b>	<b>23 268,9</b>

поверхностных слоев земли (глубиной до 400 м). Теплосодержание грунтового массива, в общем случае, выше, чем теплосодержание грунтовых вод (в особенности при равной температуре). Это направление развития теплонасосных систем особенно актуально в Донбасском регионе. Суть предложения, разработанного в Донбасской национальной академии строительства и архитектуры, заключается в использовании теплоты отвалных пород терриконов.

В результате изучения научных материалов по строению, процессам и тепловому состоянию терриконов можно сделать следующие выводы:

По тепловому состоянию терриконы бывают:

а) не горящие:

холодные – до 25°C

теплые – 50°C

горячие – 70°C

предельно нагретые – свыше 70;

б) потухшие:

нагретые – выше 35°C

остывшие – ниже 35 °C.

Таким образом, грунты терриконов могут служить как минимум низкопотенциальным источником теплоты для геотермальных тепловых насосов. Даже если температура террикона довольно низкая (0–25°C), то для эффективного его использования можно осуществить перенос тепловой

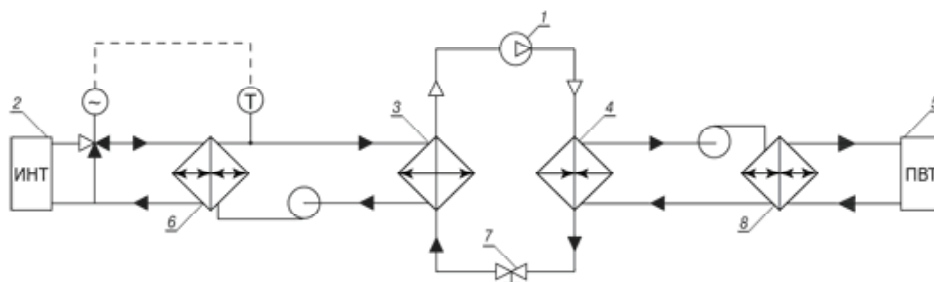


Рис. 1. Принципиальная схема ГТН, работающего по парокомпрессионному циклу.

энергии на более высокий температурный уровень (50–80 °С).

Такое преобразование можно реализовать тепловыми насосами, которые, по сути, являются парокомпрессионными холодильными машинами (принципиальная схема приведена на рисунке 1).

Источник низкотемпературной теплоты нагревает испаритель (3), в котором хладагент кипит при температуре +5... +10 °С. Далее тепло, переданное хладагенту, переносится классическим парокомпрессионным циклом к конденсатору (4), откуда поступает к потребителю высокотемпературной теплоты на более высоком уровне.

В случае необходимости использования теплоты отвалов, горящих в своей толще, авторами предложено использование термосифонов, иногда применяющиеся для тушения внутриотвальных возгораний.

В зависимости от характеристик используемого террикона для отбора теплоты грунтов возможно применение как горизонтальных, так и вертикальных грунтовых теплообменников коаксиального типа.

При горизонтальном исполнении трубопровод, в котором циркулирует жидкость, зарывается в отвальные грунты терриконов на глубину ниже уровня промерзания почвы (1,0–1,5 м). Минимальное расстояние между трубами 0,8–1,0 м. Ориентировочное значение тепловой мощности на 1 м трубопровода составляет 20–30 Вт. Таким образом, для получения 10 кВт теплоты необходим трубопроводный контур длиной 350–500 м, который размещается на участке земли площадью 400–500 м<sup>2</sup>.

При вертикальном исполнении теплового насоса в терриконе бурится скважина глубиной 60–200 м, в которую опускается U-образный

трубопровод. Срок службы грунтового коллектора зависит от кислотности почвы: при нормальной кислотности – 50–75 лет, при повышенной – 25–30 лет.

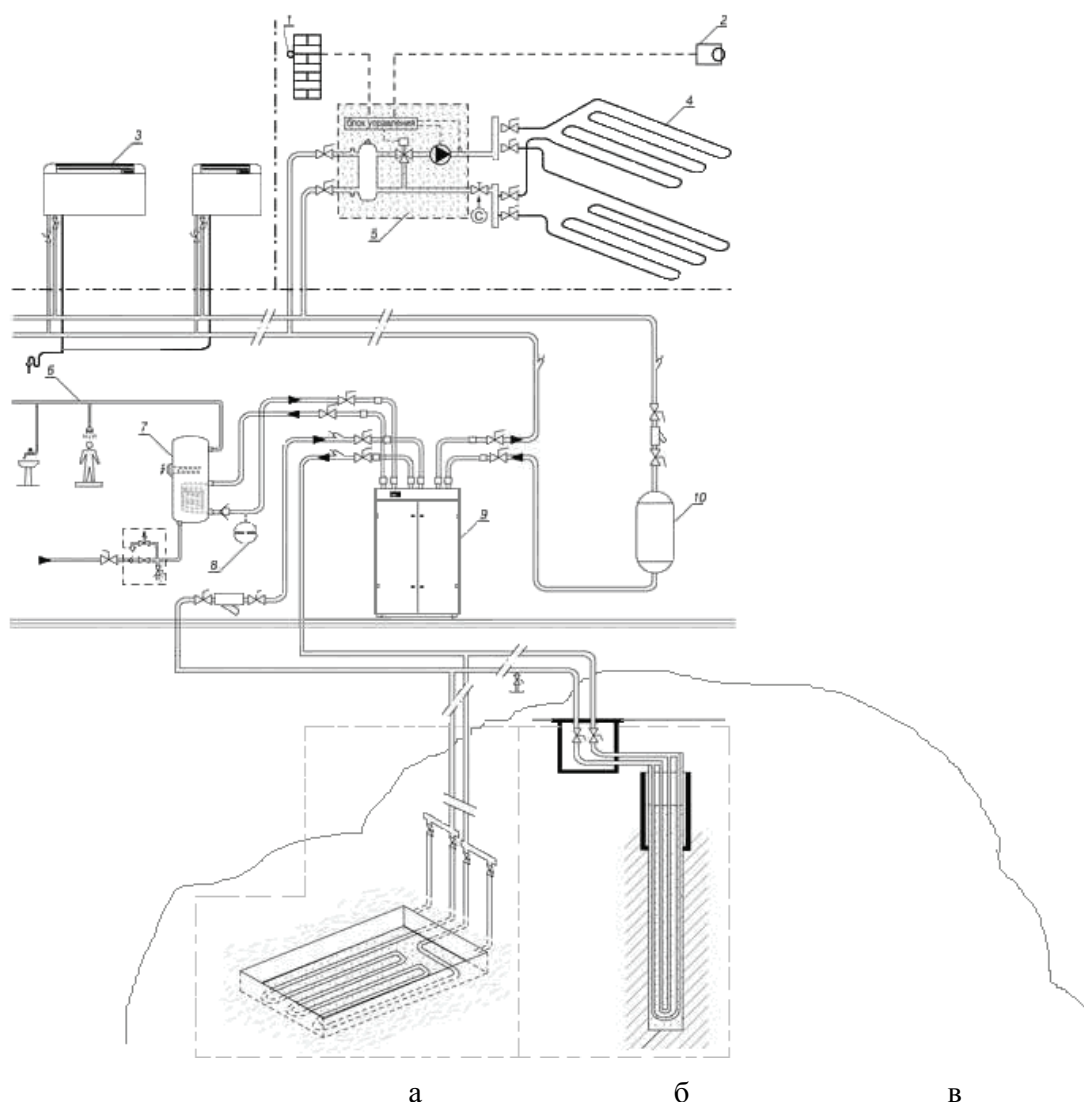
Типовая принципиальная схема предлагаемой тепловой насосной установки приведена на рисунке 2.

Применение вышеприведенных принципиальных схем тепловых насосов, использующих теплоту грунтов терриконов, перспективно еще и потому, что в этом случае практически снимается вопрос резкой сезонной неравномерности температур обычных грунтов, так как температура воздуха на аккумуляцию теплоты окисления при больших массах нагреваемой породы влияет незначительно. При температуре пород внутри отвала свыше 50 °С действие температуры наружного воздуха практически не сказывается.

Разумеется, мы отдаем себе отчет, что при разработке реальной теплонасосной установки, использующей теплоту грунтов терриконов, возникает достаточно много серьезных проблем, важнейшими из которых являются:

1. Выбор конструкции грунтового коллектора, позволяющей его установку в агрессивной среде.
2. Разработка технологии установки коллектора в терриконе.
3. Транспортировка высокопотенциальной теплоты к потребителю.
4. Расчет грунтового коллектора будет затруднен не столько сезонным изменением параметров грунта, сколько воздействием возможных очагов возгорания и эксплуатационных нагрузок на систему теплосбора.

Воздействия очагов возгорания неизбежно приведут к изменению агрегатного состояния влаги, заключенной в порах породных грунтов и находящейся в общем случае как в жидкой,



**Рис. 2.** а – водоем; б – грунтовый коллектор; в – геотермальная скважина; 1 – датчик наружной температуры; 2 – датчик температуры в помещении; 3 – фанкойл; 4 – обогреваемый пол; 5 – гидромодуль; 6 – система горячего водоснабжения; 7 – бойлер; 8 – расширительный бак; 9 – тепловой насос; 10 – бак-аккумулятор; 11 – промежуточный теплообменник.

так и в твердой и газообразной фазах одновременно. Т.е. массив породных грунтов представляет собой сложную трехфазную полидисперсную гетерогенную систему, ее «скелет» образован твердыми частицами разнообразной формы, величины и химического состава. Кроме того, этот «скелет» может быть как жестким, так и подвижным в зависимости от химического, фракционного состава пород, а также процессов в недрах террикона.

Очевидно, что для разработки методики расчета грунтового коллектора необходимо моделирование процессов теплопереноса, формулирующих тепловой режим такой

многокомпонентной системы.

Математическое моделирование в этом случае представляет собой чрезвычайно сложную задачу, так как необходим учет и математическое описание разнообразных механизмов осуществления теплопереноса, а именно:

- теплопроводность в отдельных частицах;
- передача теплоты от одной частицы к другой при их контакте;
- молекулярная теплопроводность и тепловое излучение в среде, заполняющей промежутки между частицами;
- конвекция пара и влажосодержащих масс воздуха в поровом пространстве пород и другие.

Широкое внедрение предложенных ГТН, при всей их перспективности, вероятно, будет затруднено из-за проблем транспортировки высокопотенциальной теплоты к потребителю. Хотя этот вопрос для некоторых терриконов, находящихся в черте городов, решить не сложно. К примеру, в центре Червоногвардейского района г. Макеевки, рядом с автостанцией расположен перегоревший террикон со снятой вершиной. Теплонасосная система, установленная на этом терриконе, могла бы обеспечивать горячим водоснабжением мойку автомобилей и кафе, расположенные в непосредственной близости от террикона.

### Литература

1. В. Мааке, Г.Ю. Эккерт, Ж.Л. Кошпен. Учебник по холодильной технике: Пер. с франц. - М.: Издательство Московского Университета, 1998.-1142с.,ил.
2. Энергетическая стратегия Украины на период до 2030 года и дальнейшую перспективу. Концептуальные положения. - Киев, 2004 г.
3. Лаврентьев М.А., Шабат Б.В. Методы теории функций комплексного переменного. М., «Наука», 1987.
4. Пехович А.И., Жидких В.М. Расчеты теплового режима твердых тел. Л., «Энергия», 1976.
5. 1995 ASHRAE Application Handbook, Chapter 33: Owning and Operating Costs, American Society of Heating, Refrigeration, and Air-Conditioning Engineers, Inc.
6. Curtis R., Lund J., Sanner B., Rybach L., Hollstrom G. Ground source heat pumps — geothermal energy for anyone, anywhere: current worldwide activity // Proceedings World Geothermal Congress 2005.— Antalya, Turkey. — 2005.
7. Овчаренко В.А. Овчаренко А.В. Використання теплових насосів // Холод М+Т, 2006, №2 с. 34-36.
8. Амитан В.Н., Арабаджев А.М., Волков Н.И., Киклевич Ю.Н. Концепция комплексного развития теплового хозяйства г. Донецка на 2005 – 2010 – 2020 гг./ Донецк. регион. отд-ние Академии технологических наук Украины. – Донецк, 2004. – 31 с.
9. А. Долінський, Б. Басок, О. Чайка, Є. Базєєв. Концепція (проект) державної науково-технічної програми «Комплексна модернізація комунальної теплоенергетики України» // Вісн. НАН України, 2007, № 7
10. Возобновляемые источники энергии, их перспективы в Украине. Всеволод Лещинский, UAenergy.org // 16.11.2007 г.
11. С. Меженний. Теплова генерація матиме майбутнє за умови економічної привабливості. // 2005 г. – www.kievenergo.com.ua.

**Монах Світлана Ігорівна** - к.т.н., доцент, доцент кафедри теплотехніки, теплогазопостачання і вентиляції Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: енергозберіжні технології в системах теплопостачання, моделювання процесів тепломасопереносу, підвищення ефективності роботи теплових насосів.

**Бафталовський Роман Едуардович** - магістр кафедри теплотехніки, теплогазопостачання і вентиляції Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: енергозберіжні технології в системах теплопостачання, моделювання процесів тепломасопереносу, підвищення ефективності роботи теплових насосів.

**Монах Светлана Игоревна** – к.т.н., доцент, доцент кафедры теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: энергосберегающие технологии в системах теплоснабжения, моделирование процессов тепломассопереноса, повышение эффективности работы тепловых насосов.

**Бафталовский Роман Эдуардович** – магистр кафедры теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: энергосберегающие технологии в системах теплоснабжения, моделирование процессов тепломассопереноса, повышение эффективности работы тепловых насосов.

**Monah Svetlana Igorevna** – candidate of technical science, assistant, chair of “the Heating Engineering, Thermo gas Supply and Ventilations” of the Donbass National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: saved energy technologies in the systems of thermosupply, processes of modeling of thermal mass transfer work efficiency improving of heat-pumps.

**Baftalovskiy Roman Eduardovich** master's degree of “the Heating Engineering, Thermo gas Supply and Ventilations” of the Donbass National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: saved energy technologies in the systems of thermosupply, processes modeling of thermal mass work transfer efficiency improving of heat-pumps.