

УДК 624.15.001

**МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ТЕМПЕРАТУРНИХ ПОЛІВ,
ОБУМОВЛЕНИХ ТЕПЛООБМІНОМ МІЖ ЧОТИРМА
U-ПОДІБНИМИ КОЛЕКТОРАМИ ТЕПЛООВОГО НАСОСА
НЕОБМЕЖЕНОЇ ДОВЖИНИ ТА ГРУНТОВИМИ ОСНОВАМИ**

**МЕТОДИКА РАСЧЕТА ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ,
ОБУСЛОВЛЕННЫХ ТЕПЛООБМЕНОМ МЕЖДУ ЧЕТЫРЬМЯ
U-ОБРАЗНЫМИ КОЛЕКТОРАМИ ТЕПЛООВОГО НАСОСА
НЕОГРАНИЧЕННОЙ ДЛИНЫ И ГРУНТОВЫМИ ОСНОВАНИЯМИ**

**FOR CALCULATING TEMPERATURE FIELDS THAT WERE CAUSED
BY THE HEAT-EXCHANGING BETWEEN THE FOUR U-SHAPED
RESERVOIRS HEAT PUMP UNLIMITED LONG AND BASIS**

**Моркляник Б.В., к.т.н., доц. (Львівська політехніка, м. Львів),
Фартушний А.С., асп., Шаповал В.Г., д.т.н., проф. (Державний ВНЗ
«Національний гірничий університет», м. Дніпропетровськ)**

**Моркляник Б.В., к.т.н., доц. (Львовская политехника, г. Львов),
Фартушный А.С., асп., Шаповал В.Г., д.т.н., проф. (Государственное ВУЗ
«Национальный горный университет», г. Днепропетровск)**

**B.V. Morklaynik, candidate of technical sciences (Lviv Polytecnic, Lviv)
A.S. Fartushniy, graduate, V.G. Shapoval, doctor of technical sciences,
professor (National Mining University, Dnipropetrovsk)**

Розроблена методика розрахунку температурних полів, обумовлених теплообміном між U-подібними колекторами теплових насосів необмеженої довжини та ґрунтовими основами. З допомогою розрахунку температурного поля визначений вплив роботи теплового насоса на ґрунтову основу.

Разработана методика расчета температурных полей, обусловленных теплообменом между U-образными коллекторами тепловых насосов и ґрунтовыми основаниями. С помощью расчета температурного поля определено влияние работы теплового насоса на ґрунтовое основание.

The method of calculation of temperature fields due to heat exchange between the U-shaped collectors heat pumps and ground bases. With this calculation determined the effect of the heat pump on the foundation soil.

Ключові слова:

Теплообмін, колектор, основа, вплив.
 Теплообмен, коллектор, основание, влияние.
 Heat exchange, collector, base, influence.

Введение. Тепловые насосы получили широкое распространение в экономически развитых странах.[1]

Эта технология позволяет в 2,5...5 раз и более сократить потребление энергии для нужд отопления и кондиционирования. При этом, из-за изменения теплового режима оснований и их циклического замерзания-оттаивания, в ходе работы грунтовых тепловых насосов возникают новые, неучтенные в действующих в настоящее время на территории Украины нормативных документах нагрузки и воздействия.

Анализ последних исследований. U-образные зонды грунтовых тепловых насосов являются одним из основных типов теплообменников [2]. В этой связи в литературе имеется большое число публикаций [3, 4]. При этом не уделялось внимание разработке методики расчета температурных полей, обусловленных теплообменом между U-образными коллекторами тепловых насосов и грунтовыми основаниями на значительной глубине.

Постановка цели и задач исследования. При написании данной работы преследовалась цель определить с помощью расчета температурного поля влияние работы теплового насоса на грунтовое основание.

Методика исследования. Рассмотрим конкретную задачу о распределении температурных полей в основании четырех U-образных коллекторов, длина которых равна 25 метров. Рассмотрим такие режимы работы теплового насоса: кондиционирование, отопление, а также в реверсный режим (рис. 1).

В качестве исходных данных примем теплофизические характеристики грунта, представленные в таблице 1.

Таблица 1

Значения теплофизических свойств основания

№ п/п.	Удельный вес γ , $\frac{кН}{м^3}$	Удельная теплоемкость c_p , $\frac{кДж}{кг \cdot град}$	Коэфф. теплопроводности λ , $\frac{вт}{м \cdot град}$
1	15,50...20,00	0,50...2,00	0,50...2,00

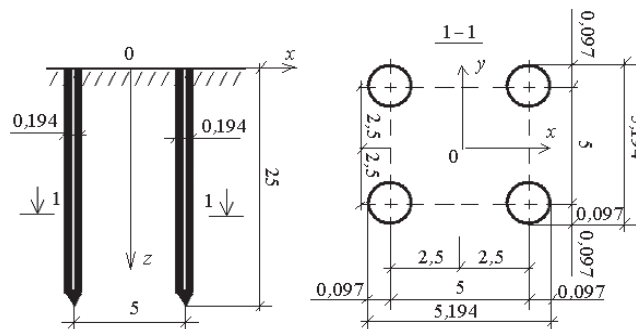


Рис. 1. К расчету теплового поля в основании четырех U-образных зондов
Примечание. Размеры даны в метрах.

В качестве фундаментального используем полученное нами решение (формула (64) в работе [5]).

Далее с использованием формулы (39) (в работе [5]) и принципа суперпозиции найдем температурное поле от распределенного источника теплоты в слое грунта единичной толщины. Имеем:

$$T(r, t) = \frac{2 \cdot \pi}{4 \cdot \pi \cdot \rho \cdot c_p} \cdot \int_0^t \frac{q_w(\tau)}{a \cdot (t - \tau)} \cdot \left\{ \int_0^R \exp \left[-\frac{(r - \xi)^2}{4 \cdot a \cdot (t - \tau)} \right] \cdot \xi \cdot d\xi \right\} \cdot d\tau,$$

откуда

$$T(r, t) = \int_0^t \frac{q_w(\tau)}{\rho \cdot c_p} \cdot (f_1 + f_2 + f_3 - f_4) \cdot d\tau; \quad (1)$$

$$\left. \begin{aligned} f_1 &= \frac{r \cdot \sqrt{\pi}}{2} \cdot \frac{\operatorname{erf}(z_1)}{\sqrt{a \cdot (t - \tau)}}; \\ f_2 &= \frac{r \cdot \sqrt{\pi}}{2} \cdot \frac{\operatorname{erf}(z_2)}{\sqrt{a \cdot (t - \tau)}}; \\ f_3 &= \exp(-z_3); \\ f_4 &= \exp(-z_4); \\ z_1 &= \frac{R - r}{2 \cdot \sqrt{a \cdot (t - \tau)}}; \\ z_2 &= \frac{r}{2 \cdot \sqrt{a \cdot (t - \tau)}}; \\ z_3 &= \frac{r^2}{4 \cdot a \cdot (t - \tau)}; \\ z_4 &= \frac{(R - r)^2}{4 \cdot a \cdot (t - \tau)}; \\ R &= \frac{a_{\text{max}}}{2} \end{aligned} \right\}$$

Далее с использованием подстановки $r = \sqrt{x^2 + y^2}$ перейдем в (1) к декартовой системе координат. Имеем:

$$\left. \begin{aligned}
 T(r, t) &= \int_0^t \frac{q_w(\tau)}{\rho \cdot c_p} \cdot (f_1 + f_2 + f_3 - f_4) \cdot d\tau; \\
 f_1 &= \frac{\sqrt{\pi(x^2+y^2)}}{2} \cdot \frac{\operatorname{erf}(z_1)}{\sqrt{\alpha \cdot (t-\tau)}}; \\
 f_2 &= \frac{\sqrt{\pi(x^2+y^2)}}{2} \cdot \frac{\operatorname{erf}(z_2)}{\sqrt{\alpha \cdot (t-\tau)}}; \\
 f_3 &= \exp(-z_3); \\
 f_4 &= \exp(-z_4); \\
 z_1 &= \frac{R - \sqrt{x^2+y^2}}{2 \cdot \sqrt{\alpha \cdot (t-\tau)}}; \\
 z_2 &= \frac{\sqrt{x^2+y^2}}{2 \cdot \sqrt{\alpha \cdot (t-\tau)}}; \\
 z_3 &= \frac{x^2+y^2}{4 \cdot \alpha \cdot (t-\tau)}; \\
 z_4 &= \frac{(R - \sqrt{x^2+y^2})^2}{4 \cdot \alpha \cdot (t-\tau)}; \\
 R &= \frac{d_{\text{кн}}}{2}
 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Далее найдем температурное поле в точке основания с координатами (x, y) , причиной возникновения которого являются n источников тепла $q_{w,i}(t)$, центры которых находятся в точках с координатами (x_i, y_i) (формула (2) и рис. 1). Имеем:

$$T(x, y, t) = T_{\text{осн}}(x, y, t) + \sum_{i=1}^n T[q_{w,i}(x - x_i), (y - y_i), t], \quad (3)$$

где температуру $T[q_{w,i}(x - x_i), (y - y_i), t]$ следует определять по формуле (2).

Результаты исследования. На основе полученных таким образом данных нами были построены изополя температур в грунтовом основании для таких вариантов использования тепловых насосов:

–тепловой насос работает только лишь в режиме кондиционирования три месяца с начала июня по конец августа (рис. 2а);

–тепловой насос работает только лишь в режиме отопления шесть месяцев с начала ноября по конец марта (рис. 2б);

–тепловой насос работает в реверсном режиме (т.е. в режиме кондиционирования три месяца с начала июня по конец августа и в режиме отопления – шесть месяцев с начала ноября по конец марта (рис. 2в).

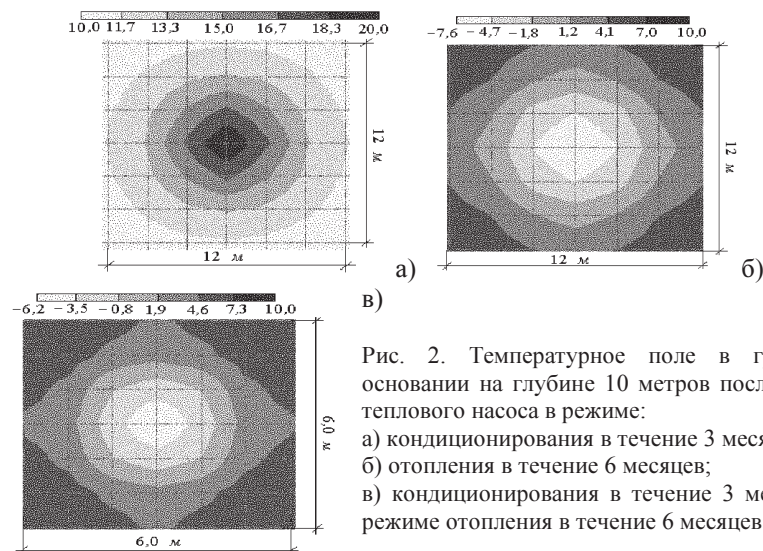


Рис. 2. Температурное поле в грунтовом основании на глубине 10 метров после работы теплового насоса в режиме:
 а) кондиционирования в течение 3 месяцев;
 б) отопления в течение 6 месяцев;
 в) кондиционирования в течение 3 месяца и в режиме отопления в течение 6 месяцев

Выводы. Разработана методика расчета температурных полей, обусловленных теплообменом между U-образными коллекторами тепловых насосов и грунтовыми основаниями на значительной глубине (этот случай соответствует условиям плоской задачи).

Показано, что при работе теплового насоса в режиме кондиционирования температура основания может значительно превышать ее природные значения в 1,1...2 раза (рис. 2).

Установлено, что при работе теплового насоса в режиме отопления температура основания может быть ниже температуры замерзания воды (рис. 2). Этот факт имеет важное значение в связи с явлением морозного пучения грунта [6].

Выявлено, что при функционировании теплового насоса в реверсном режиме имеет менее резкое изменение температурного поля основания, чем это имеет место при его работе только лишь в режиме кондиционирования или только лишь в режиме отопления.

1. Популярная механика, №8 (70). - М., 2008. - с. 78...81.
2. Brandl, H. Energy foundation and other thermo- active ground structures. Geotechnique 56.-2006.- pp. 81-122.
3. Branl, H. Energy piles and diaphragm walls for heat transfer form and into the ground. Procssding of the 3-h international Geotechnical Seminar on Deep Foundations on Bored and Auger Piles. Ghent. Technical University, Vienna, Austria-1998-pp. 38-60.
4. Пономарев А. Б., Атаманов А. А. Энергетические фундаменты.//Строительная наука и техника.- 2008. -№4, с. 57-61.
5. Шаповал В.Г., Моркляник Б. В. Температурные поля в основаниях тепловых насосов: Монография.- Дніпропетровск: Пороги, 2011.- 123 с.
6. Шаповал В.Г., Седин В.Л., Шаповал А.В., Моркляник Б. В., Андреев В.С. Механика грунтов: Учебник.– Днепропетровск: Пороги, 2010.-168 с.