

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ТЕПЛОВЫХ ПОЛЕЙ В ГРУНТОВОМ ОСНОВАНИИ, ОБРАЗОВАННЫХ В ХОДЕ ТЕПЛООБМЕНА МЕЖДУ ОСНОВАНИЕМ И ЧЕТЫРЬМЯ U-ОБРАЗНЫМИ КОЛЛЕКТОРАМИ ТЕПЛООВОГО НАСОСА КОНЕЧНОЙ ДЛИНЫ

Б.В. Моркляник, Львовская политехника, Украина

В.С. Андреев, Днепрпетровский национальный университет железнодорожного транспорта, Украина

А.С. Фартушный, В.Г. Шаповал, Государственный ВУЗ «Национальный горный университет», Украина

Аннотация. Разработана методика расчета температурных полей, обусловленных теплообменом между u-образными зондами тепловых насосов и грунтовыми основаниями при учете сезонных изменений температуры на поверхности основания. Показано, что при работе теплового насоса в режиме кондиционирования температура основания может превышать ее природные сезонные значения.

Введение. Структура не возобновляемых полезных ископаемых Украины (уголь, уран и др.) такова, что в ближайшие десятилетия наиболее распространенным и доступным источником тепловой энергии будет электрическая. В связи с этим представляет интерес использование в качестве отопительного прибора грунтового теплового насоса. Этот прибор при своей работе потребляет, в основном, накопленную грунтовой толщей энергию Солнечного тепла и лишь малую часть электрической энергии.

Состояние вопроса, выделение нерешенной части проблемы. U-образные зонды грунтовых тепловых насосов являются одним из основных типов теплообменников [1]. В этой связи в литературе имеется большое число публикаций [2, 3]. При этом не уделялось внимание разработке методики расчета температурных полей, обусловленных теплообменом между U-образными коллекторами тепловых насосов конечной длины и грунтовыми основаниями. При функционировании U-образных зондов в теплообмен вовлекаются значительные объемы грунта. Этот факт обязательно следует учитывать при проектировании оснований фундаментов зданий и сооружений.

Формулирование целей, постановка задач. При написании настоящей работы преследовалась цель определить методику расчета температурного поля в основании U-образного коллектора теплового насоса конечных размеров.

Изложение основного материала. Рассмотрим задачу о распределении температурных полей в основании четырех U-образных коллекторов, длина которых равна 25 метров, работающего в режимах кондиционирования, отопления а также в реверсном режиме плоского теплового насоса (рис. 1).

В качестве исходных прием изложенные в таблице 1 данные.

Таблица 1

Значения теплофизических свойств основания

№ Пп	Удельный вес $\gamma \frac{кН}{м^3}$	Удельная теплоемкость $c_p, \frac{кДж}{кг \cdot град}$	Кэфф. Теплопроводности $\lambda, \frac{вт}{м \cdot град}$
1	15,50...20,00	0,50...2,00	0,50...2,00

Далее рассчитаем тепловое поле в грунтовом основании U-образного зонда длиной h и радиусом R . При этом не будем учитывать обусловленные природными условиями колебания температуры. В качестве фундаментального используем полученное нами решение (формула (64) в работе [4]).

Далее положим в (64) $dQ = q_w(\tau) \cdot \eta_1 \cdot d\eta_1 \cdot d\xi$, а вместо радиуса r подставим разность расстояний между радиусом η_1 , на расстоянии которого от центра находится рассматриваемая точка и радиусом r , на расстоянии которого от центра производится расчет температурного поля. После этого проинтегрируем полученное таким образом выражение в пределах $\xi \in (0, h)$ и $\eta_1 \in (0, R)$. Имеем:

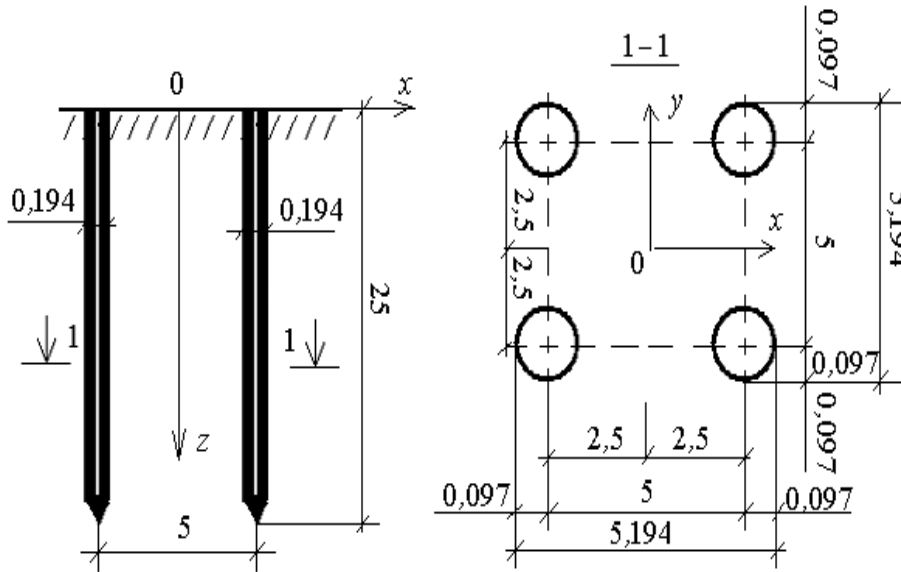


Рис. 1. К расчету теплового поля в основании четырех U-образных зондов
Примечание. Размеры даны в метрах.

$$\left. \begin{aligned}
 T_U(r, z, t) &= \int_0^h \left\langle \int_0^R \int_0^R \{k(\tau) \cdot f_0 \cdot [f_1 - f_2] \cdot d\tau\} \cdot \eta_1 \cdot d\eta_1 \right\rangle d\xi; \\
 f_0 &= \exp \left[-\frac{(r - \eta_1)^2}{4 \cdot a \cdot (t - \tau)} \right]; \quad f_1 = \exp \left[-\frac{(z - \xi)^2}{4 \cdot a \cdot (t - \tau)} \right]; \\
 f_2 &= \exp \left[-\frac{(z + \xi)^2}{4 \cdot a \cdot (t - \tau)} \right]; \quad k(\tau) = \frac{q_w(\tau)}{\rho \cdot c_p \cdot \sqrt{(\pi \cdot a \cdot t)^3}}.
 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Выполнив в (1) процедуру интегрирования, найдем:

$$T_U(r, z, t) = \int_0^t k(t, \tau) \cdot [f_1 \cdot (f_2 + f_3) + f_4 \cdot (f_5 + f_6)] \cdot (f_6 + f_6 + f_6) dt; \quad (2)$$

$$\left. \begin{aligned}
& f_1 = 2 \cdot a \cdot (t - \tau); \quad f_2 = \exp\left(-\frac{r^2}{a_1}\right); \quad f_3 = -\exp\left[-\frac{(R-r)^2}{a_1}\right]; \\
& f_4 = r \cdot \sqrt{\pi \cdot a \cdot (t - \tau)}; \quad f_5 = \operatorname{erf}\left(\frac{r}{\sqrt{a_1}}\right); \quad f_6 = \operatorname{erf}\left(\frac{R-r}{\sqrt{a_1}}\right); \\
& f_7 = -\operatorname{erf}\left(\frac{z-h}{\sqrt{a_1}}\right); \quad f_8 = -\operatorname{erf}\left(\frac{z+h}{\sqrt{a_1}}\right); \quad f_9 = \operatorname{erf}\left(\frac{z}{\sqrt{a_1}}\right); \\
& a_1 = 4 \cdot a \cdot (t - \tau); \quad k(t, \tau) = \frac{q_w(\tau)}{8 \cdot \rho \cdot c_p \cdot a \cdot (t - \tau) \sqrt{\pi}}.
\end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Далее перейдем к декартовой системе координат. Для этого положим в (2) $r = \sqrt{x^2 + y^2}$.
Имеем:

$$\left. \begin{aligned}
& T_U(x, y, z, t) = \int_0^t k(t, \tau) \cdot \left[\begin{aligned} & f_1 \cdot (f_2 + f_3) + \\ & + f_4 \cdot (f_5 + f_6) \end{aligned} \right] \cdot (f_7 + f_8 + f_9) d\tau; \\
& f_1 = 2 \cdot a \cdot (t - \tau); \quad f_2 = \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{a_1}\right); \\
& f_3 = -\exp\left[-\frac{\left(R - \sqrt{x^2 + y^2}\right)^2}{a_1}\right]; \\
& f_4 = r \cdot \sqrt{\pi \cdot a \cdot (t - \tau)}; \quad f_5 = \operatorname{erf}\left(\frac{\sqrt{x^2 + y^2}}{\sqrt{a_1}}\right); \\
& f_6 = \operatorname{erf}\left(\frac{R - \sqrt{x^2 + y^2}}{\sqrt{a_1}}\right); \quad f_7 = -\operatorname{erf}\left(\frac{z-h}{\sqrt{a_1}}\right); \\
& f_8 = -\operatorname{erf}\left(\frac{z+h}{\sqrt{a_1}}\right); \quad f_9 = \operatorname{erf}\left(\frac{z}{\sqrt{a_1}}\right); \quad a_1 = 4 \cdot a \cdot (t - \tau); \\
& k(t, \tau) = \frac{q_w(\tau)}{8 \cdot \rho \cdot c_p \cdot a \cdot (t - \tau) \sqrt{\pi}}.
\end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Температуру основания в расчетной точке основания с координатами (x, y, z) найдем как сумму

$$T(x, y, z, t) = T_U(x, y, z, t) + T(z, t) \quad (4)$$

Здесь $T_U(x, y, z, t)$ – температура в точке основания с координатами (x, y, z) в момент времени t , обусловленная теплообменом основания с и-образным зондом (ее следует рассчитывать с использованием рекомендаций [4, 5]), а $T(z, t)$ – температура на глубине z в момент времени t , обусловленная теплообменом основания с окружающей средой.

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. 2);

–тепловой насос работает только лишь в режиме отопления шесть месяцев с начала ноября по конец марта (рис. 3);

–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. 4).

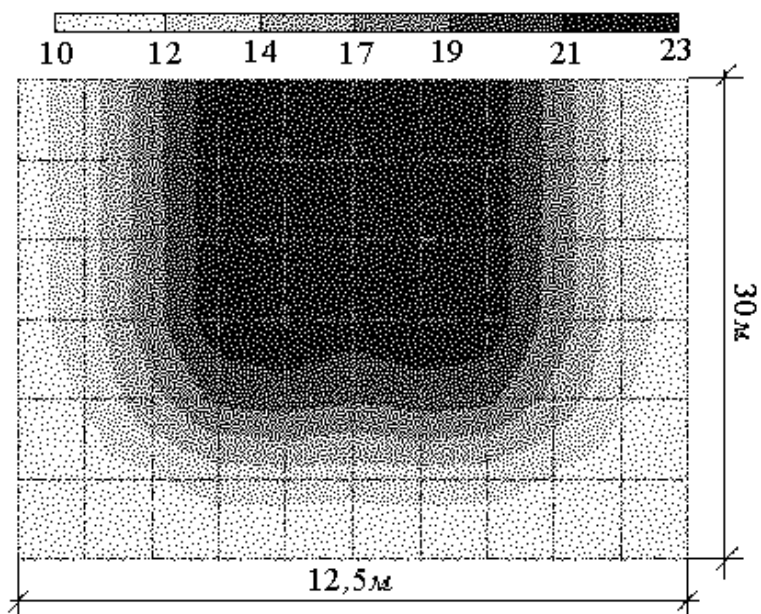


Рис. 2. Температурное поле в грунтовом основании, обусловленное теплообменом четырех U-образных зондов с основанием при работе теплового насоса в режиме кондиционирования в течение 3 месяцев

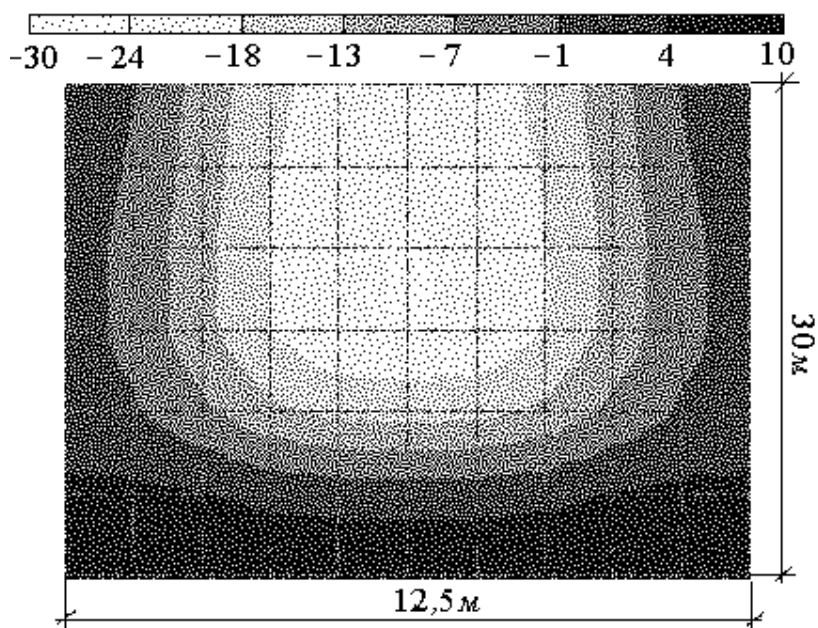


Рис. 3. Температурное поле в грунтовом основании, обусловленное теплообменом четырех U-образных зондов с основанием при работе теплового насоса в режиме отопления в течение 6 месяцев

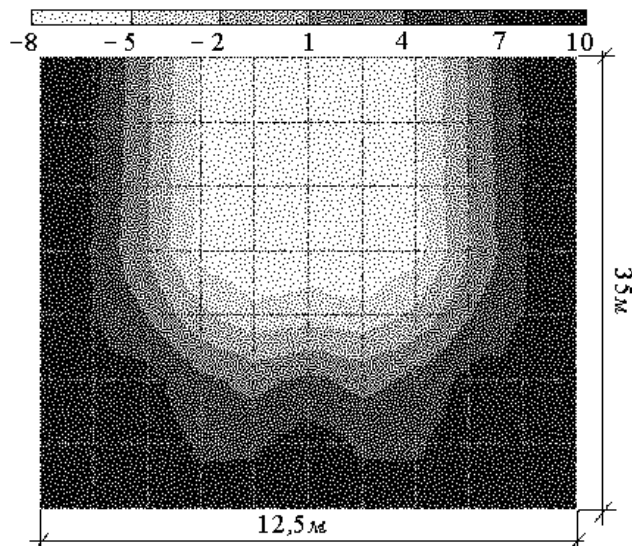


Рис. 4. Температурное поле в грунтовом основании, обусловленное теплообменом четырех U-образных зондов с основанием при работе теплового насоса в режиме кондиционирования в течение 3 месяцев и в режиме отопления в течение 6 месяцев

Изложенные в настоящем разделе материалы исследований, позволили нам сделать такие выводы.

1. Разработана методика расчета температурных полей, обусловленных теплообменом между U-образными зондами тепловых насосов и грунтовыми основаниями при учете сезонных изменений температуры на поверхности основания.

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

3. Установлено, что при работе теплового насоса в режиме отопления температура основания может быть ниже температуры замерзания воды (рис. 3). Этот факт имеет важное значение при проектировании фундаментов и подземных сооружений в связи с явлением морозного пучения грунта[6].

4. Выявлено, что тепловые поля при работе теплового насоса в режиме отопления и в реверсном режиме отличаются друг от друга (рис. 3 и 4).

5. Установлено, что при функционировании U-образных зондов в теплообмен вовлекаются значительные объемы грунта. Этот факт обязательно следует учитывать при проектировании оснований фундаментов зданий и сооружений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шаповал В.Г., Моркляник Б.В. Основания и фундаменты тепловых насосов. Львов: Сполум - 2009 – 64 с.
2. Brandl, H. Energy foundation and other thermo- active ground structures. Geotechnique 56.- 2006.- pp. 81-122.
3. Brandl, H. Energy piles and diaphragm walls for heat transfer form and into the ground. Procceeding 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. Шаповал В.Г., Моркляник Б. В. Температурные поля в основаниях тепловых насосов: Монография.- Дніпропетровск: Пороги, 2011.- 123 с.
5. Шаповал В.Г., Моркляник Б.В. Закономерности изменения во времени температуры на дневной поверхности грунтовых оснований. Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво). – Полтава: ПолтНТУ, 2010, №28.- с. 298-302.
6. Шаповал В.Г., Седин В.Л., Шаповал А.В., Моркляник Б. В., Андреев В.С. Механика грунтов: Учебник.– Днепропетровск: Пороги, 2010.-168 с.