

УДК 987:697.7

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ГРУНТОВОГО АККУМУЛЯТОРА

Малых В.В., Удалов С.Н., Захаров А.А.

ООО «Сибэкодомстрой», г. Новосибирск

Новосибирский Государственный Технический Университет, г. Новосибирск

Под автономным ресурсосберегающим домом (АРСДом) бурятся вертикальные скважины, в которые закладываются алюминиевые трубы, заполненные обычной водой. Вода в скважине в отопительный период перемещается в трубе за счёт естественной термогравитации. Отводится тепло из грунта теплообменником, размещённым в оголовке вертикальной сваи, где вода интенсивно охлаждается змеевиком. Снимаемое тепло подаётся на теплообменник испарителя теплового насоса (ТН). Грунт с вертикальными скважинами является низкопотенциальным источником тепла (НПИТ).

Для расчёта сначала определяют глубину заглубления трубы и её внешний и внутренний диаметры. Расчётная схема – это одиночная труба в полубесконечном массиве. Эта математическая модель теплопроводности разбивается на две сопряжённые задачи:

1) Алюминиевая труба – это осесимметричная 2-х мерная модель стационарной теплопроводности, когда тепловой поток из грунта отводится как в радиальном направлении к внутренней поверхности цилиндра и затем теплоносителю в трубе, так и по высоте цилиндра вверх за счёт температурного градиента и коэффициента теплопроводности алюминия.

2) Нестационарный теплообмен трубопровода с грунтом в плоской осесимметричной постановке.

Температурное поле в цилиндрической стенке одиночной трубы описываем следующим 2-мерным дифференциальным уравнением Лапласа (осесимметричная задача):

$$\frac{\partial^2 T(\bar{r}, z)}{\partial \bar{r}^2} + \frac{1}{\bar{r}} \frac{\partial T(\bar{r}, z)}{\partial \bar{r}} + \frac{\partial^2 T(\bar{r}, z)}{\partial z^2} = 0 \quad \begin{matrix} r_2 \leq \bar{r} \leq r_3 \\ 0 \leq z/h \leq 1 \end{matrix} \quad (1)$$

Граничные условия на внутренней и внешней поверхностях трубы, соответственно:

$$T(\bar{r}, z)|_{\bar{r}=r_2} = T_0(z); \quad (2)$$

$$T(\bar{r}, z)|_{\bar{r}=r_3} = T_1(z) \quad (3)$$

Для решения уравнения (1), по определению теплового потока в стенке трубы полого цилиндра приходится вычислять несобственный интеграл от сложной комбинации функций Бесселя с особенностями 1-го и 2-го рода, что приводит к громоздким вычислениям. Поэтому эта 2-мерная задача теплопроводности решается приближенным способом. Теплообмен на внутренней поверхности стенки трубы происходит с движущейся жидкостью и определяется конвективным коэффициентом теплоотдачи $\alpha_{пот}$, который в свою очередь определяется по известным критериальным формулам в зависимости от характера теплообмена в пристенной области [1].

Тепловой поток, отводимый от массива грунта боковой поверхностью трубы к теплоносителю в трубе (вода), вычисляем по формуле

$$q(z)|_{r=r_3/\rho} = -\lambda_{\text{аэ}} \frac{\partial \theta(r, z)}{\partial r} \Big|_{r=r_3/\rho} = -\frac{\lambda_{\text{аэ}}}{sh \varphi} [1 + 1/\ell i (r_3/\rho)] [(T_{12} - T_{\text{аэ}}) sh(\varphi Z) + (T_{11} - T_{\text{аэ}}) sh(\varphi(1-Z))] \quad (4)$$

где φ – постоянная, определяющая параметры теплообменника труба в трубе ; $\lambda_{ал}$ – теплопроводность алюминия ; r_3 –внутренний радиус скважины ; ρ – плотность воды; Z – безразмерный параметр габаритов сваи ; T_{12} – температура потока на внешней стенке трубы верхней части сваи ; $T_{вых}$ – выходная температура из сваи ; T_{11} – температура потока на внешней стенке трубы в нижней части сваи .

Знак минус в этом направлении означает, что тепловой поток направлен в противоположную сторону от радиального направления координаты r .

Весь тепловой поток, снимаемый с грунта вертикальной свайей её боковой поверхностью, отводится теплоносителем в оголовки сваи трубы за счёт термогравитации. С оголовка сваи тепло снимается теплообменником *ТНУ*. Тепловой баланс в кольцевом сечении трубы между потоком жидкости и теплоотдачей стенки трубы запишем в виде дифференциального уравнения

$$q(z) = c_p G_{\text{пот}} dT_{\text{пот}} / dz, \quad (5)$$

где c_p – теплоемкость воды ; $G_{\text{пот}}$ – массовый расход воды ; $T_{\text{пот}}$ – температура потока. Теплоотводом с грунта и торца сваи пренебрегаем. Тогда температура теплоносителя на выходе из вертикальной сваи равна:

$$T_{\text{пот}}(Z)|_{z=0} = T_{\text{а\o}} = T_{\text{а\o}} + \frac{kh}{\varphi}(T_{11} - T_{\text{а\o}})(\tilde{n}h\varphi + 1)(\tilde{n}h\varphi - 1) = T_{\text{а\o}} + \frac{kh}{\varphi}(T_{11} - T_{\text{а\o}})sh^2\varphi, \quad (6)$$

где k - соотношение приведенного коэффициента теплопередачи в стенке трубы к массовому расходу теплоносителя, движущемуся в кольцевом сечении трубы .

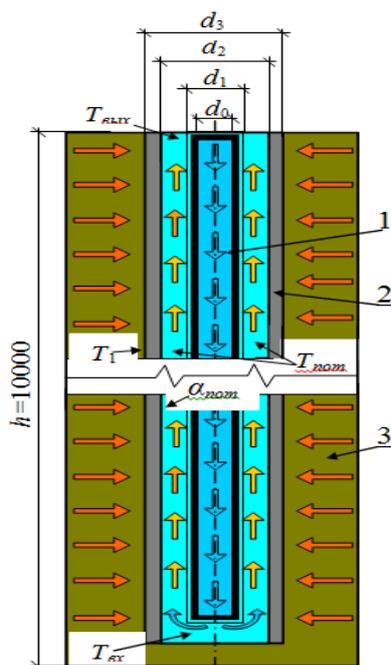
Снимаемую мощность одной сваи с массива грунта можно определить, проинтегрировав уравнение (5) по высоте сваи $0 \leq Z \leq 1$. Произведя в этой функции подстановку

$$(T_{12} - T_{\text{вых}}) = (T_{11} - T_{\text{ex}})ch\varphi$$

$$Q = \frac{\lambda_{ал} h}{\varphi} sh\varphi [1 + 1/\ln(r_3/\rho)](T_{11} - T_{\text{ex}}) \quad [Bm],$$

где h – высота сваи; Q - снимаемую мощность одной сваи с массива грунта[2].

Течение в кольцевом канале вертикальной сваи осуществляется за счёт нагрева воды от грунта, в котором находится свая.



Данная методика позволяет рассчитывать грунтовой аккумулятор для любых климатических условий.

Рис. 1. Основные элементы термогравитационного теплообменника (вертикальная алюминиевая свая): 1 – опускной стояк из пропиленовой трубы ($d_0 = 36$ мм, $d_1 = 40$ мм); 2 – свая-теплообменник из алюминиевой трубы ($d_2 = 79$ мм, $d_3 = 85$ мм), теплоноситель – вода; 3 – грунт – суглинки под домом (бесконечный массив).

$T_1 > T_{ном}$ – температура на внешней поверхности трубы (место контакта трубы с грунтом).

T_{ex} и $T_{вых}$ – температура воды, соответственно на входе и выходе в вертикальную трубу

Литература

1. Арнольд Л.В. Техническая термодинамика и теплопередача. М.: В. школа.- 1979. – 446с.
2. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов.- М.:Наука, 1986 г. – 387с.