

ГЕОТЕРМАЛЬНЫЙ ТЕПЛООБМЕННИК

АННОТАЦИЯ

Рассмотрен процесс теплообмена в односкважинной геотермальной установке для случая обычного градиента температур грунта. Разработаны методы расчета изменения температуры теплоносителя в одномерном приближении и глубины изолирующего слоя. Получена зависимость изменения температуры от глубины скважины при различных параметрах теплоносителя, типичных для установок подобного рода.

1. ВВЕДЕНИЕ

Для отопления, горячего водоснабжения и кондиционирования жилых и общественных зданий в настоящее время используется более 40% добываемого ископаемого топлива, причем, в основном, это нефть, газ и каменный уголь, сжигание которых наносит существенный вред окружающей среде вплоть до изменения климата в настоящее время и в ближайшем будущем.

Хорошей альтернативой этих топлив, причем в возобновляемом виде, может стать геотермическая энергия. На глубине около 2500 м температура недр более 75 °С, что вполне соответствует режимам отопительных систем. Чтобы добраться до этой энергии, необходимы некоторые капитальные вложения на бурение скважин, которое в настоящее время не представляет принципиальных технических трудностей.

Обычно используется система с двумя скважинами, что имеет некоторые недостатки, а именно: в этом случае необходимы определенные знания о структуре земной коры в данном месте, а также возникает повышенная опасность выброса глубинных загрязнений.

Общий расход тепла, получаемый в такой системе определяется следующим уравнением [1]:

$$E = E_0 e^{-\frac{t}{\tau}},$$

где τ – постоянная времени.

Этих недостатков лишена предлагаемая односкважинная схема (рис. 1), кроме того, налицо существенная экономия по бурению второй скважины.

Однотрубное геотермальное устройство включает в себя одну скважину с помещенным в нее стальным цилиндрическим кожухом, закрытым снизу. В этом кожухе коаксиально помещена труба из специального плохо проводящего тепло материала, открытая снизу.

Вода, текущая по кольцевому каналу вверх, нагревается теплом земли и далее проходит через теплообменник, где отдает тепло теплоносителю отопительной системы. Охлажденная, она снова уходит в центральный канал.

Охлажденная, она снова уходит в центральный канал.

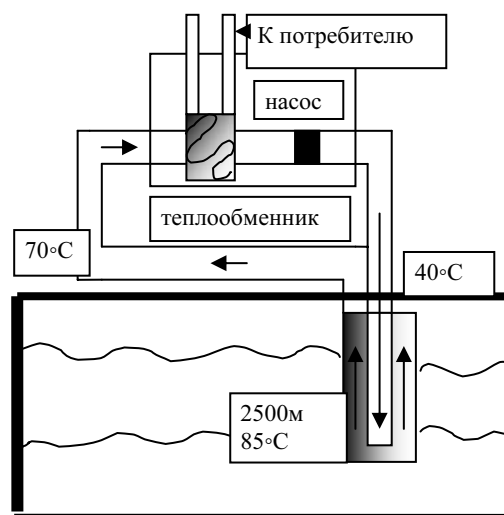


Рис. 1. Типичная схема однотрубного геотермического теплообменника

Таким образом, не затрагивается структура глубинного грунта и, в связи с замкнутым водным циклом, нет выброса загрязненной воды в окружающую среду.

В типичном варианте на глубине 2500 м температура грунта 85 °С, на выходе из скважины температура воды 70 °С, температура «обратной» воды 40 °С.

2. РАСЧЕТ ТЕПЛООБМЕННИКА

Схема для расчета приведена на рис. 2.

Пусть 1 – наружная поверхность внутренней трубы; 2, 3 – соответственно внутренняя и наружная поверхность большой трубы теплообменника; 4 – удаленная зона постоянной температуры.

Рассмотрим изменение температур прискважинной зоны 3–4 (рис. 2) и жидкого теплоносителя в кольцевом канале, а также глубину закладки изолирующего материала Z2 от параметров геотермальной системы.

Для расчета примем два допущения, а именно: вдоль оси Z переток тепла отсутствует и в сечении 4 температура восстанавливается за счет геотермальных источников тепла и не зависит от времени.

Таким образом задача становится стационарной и возможно применить соответствующие уравнения теплообмена. Для зоны 3–4 уравнение теплопроводности в цилиндрических координатах имеет вид

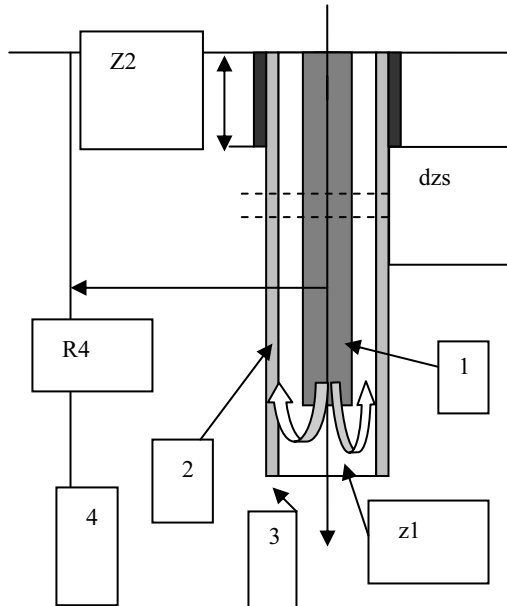


Рис. 2. Расчетная схема теплообмена: 1 – теплоизолированная внутренняя труба; 2, 3 – внутренняя и наружная поверхности внешней трубы; 4 – зона термического восстановления; Z1 – глубина скважины; Z2 – глубина изолирующего слоя

$$\frac{d^2 t}{dr^2} + \frac{dt}{r dr} = 0, \quad (1)$$

решение которого

$$t = c_1 + c_2 \ln r. \quad (2)$$

Неизвестные постоянные находят из крайних условий, и после их подстановки получим

$$t = t_3 + \frac{t_4 - t_3}{\ln \frac{r_4}{r_3}} \times \ln \frac{r}{r_3}. \quad (3)$$

Таким образом, получено распределение температур в области грунта 4–3.

Применим для этой же области грунта уравнение теплопроводности Фурье

$$q_g = \lambda_g \left(\frac{dt}{dr} \right)_g. \quad (4)$$

Подставим в него значение для температуры (3) и получим

$$q_g = \frac{\lambda_g}{r_4} \left(\frac{t_4 - t_3}{\ln \frac{r_4}{r_3}} \right). \quad (5)$$

Величина теплового потока получается пропорциональной разности температур, а коэффициент пропорциональности

$$\alpha_g \equiv \frac{\lambda_g}{r_4 \ln \frac{r_4}{r_3}}. \quad (6)$$

Выделим на кольцевом канале скважины (рис. 2) элементарный отрезок dz и определим количество тепла, попавшее через него от грунта в кольцевой зазор. Обозначим температуру теплоносителя T_f , где $T_f = f(z)$, температуру грунта t_g и коэффициент теплоотдачи от внутренней стенки к кольцевому каналу α_2 , тогда

$$dQ = \frac{\pi(t_g - T_f) dz}{\frac{1}{\alpha_g d_3} + \frac{1}{2\lambda} \ln \frac{d_3}{d_2} + \frac{1}{\alpha_2 d_2}}. \quad (7)$$

Температура грунта t_g изменяется по закону

$$t_g = t_{g0} + Gz, \quad (8)$$

где G – температурный градиент грунта.

Преобразуем (7) к виду

$$dQ = A (t_g - T_f) dz, \quad (9)$$

где

$$A = \frac{\pi}{\frac{1}{\alpha_g d_3} + \frac{1}{2\lambda} \ln \frac{d_3}{d_2} + \frac{1}{\alpha_2 d_2}}. \quad (10)$$

Из (8) и (9) получаем

$$dQ = A (t_{g0} + Gz - T_f) dz. \quad (11)$$

Это же тепло поглощается нагреваемой водой:

$$dQ = -M c d T_f, \quad (12)$$

где M – массовый расход воды, а c – ее теплоемкость.

Приравниваем уравнения (11) и (12) и разделяем переменные, в результате получаем дифференциальное уравнение вида:

$$y' + P(z)y = Q(z), \quad (13)$$

которое имеет решение

$$y = e^{-\int P dz} \left(\int Q e^{\int P dz} dz + C \right). \quad (14)$$

В нашем случае

$$P(z) = \frac{-A}{Mc}; \quad (15)$$

$$Q(z) = \frac{-A}{Mc} (t_{g0} + Gz). \quad (16)$$

После подстановки (15) и (16) в (14) получаем выражение типа

$$T_f = e^{\frac{A}{Mc} z} (B + E + C). \quad (17)$$

Выражения B и E являются неопределенными интегралами. Возьмем их, учитывая их константы в C .

$$B = \int \left(\frac{-A}{Mc} \right) t_{g0} e^{-\frac{A}{Mc} z} dz = t_{g0} e^{-\frac{A}{Mc} z}; \quad (18)$$

$$E = \int \left(\frac{-A}{Mc} \right) Gz e^{-\frac{A}{Mc} z} dz = \frac{G}{A} (Az + Mc) e^{-\frac{A}{Mc} z}. \quad (19)$$

Обозначив теплообменный комплекс $\frac{A}{Mc} \equiv \beta$ подставим (18) и (19) в (17) и получим

$$T_f = e^{\beta z} (t_{g0} e^{-\beta z} + G(z + \frac{1}{\beta}) e^{-\beta z} + C). \quad (20)$$

Константу C найдем из условия, что при $z=z_{\max}=z_1$; $T_f=T_{\text{нач}}$, далее подставив её в (20), получим выражение для температуры теплоносителя в кольцевом канале скважины:

$$T_f = t_{g0} + Gz + \frac{G}{\beta} + (T_{\text{нач}} - t_{g0} - \frac{G}{\beta} - Gz_1) e^{\beta(z-z_1)}. \quad (21)$$

Найдем выражение для глубины изоляции z_2 , приравняв значения температур грунта (8) и воды (21):

$$t_{g0} + Gz = t_{g0} + Gz + \frac{G}{\beta} + (T_{\text{нач}} - t_{g0} - \frac{G}{\beta} - Gz_1) e^{\beta(z-z_1)}. \quad (22)$$

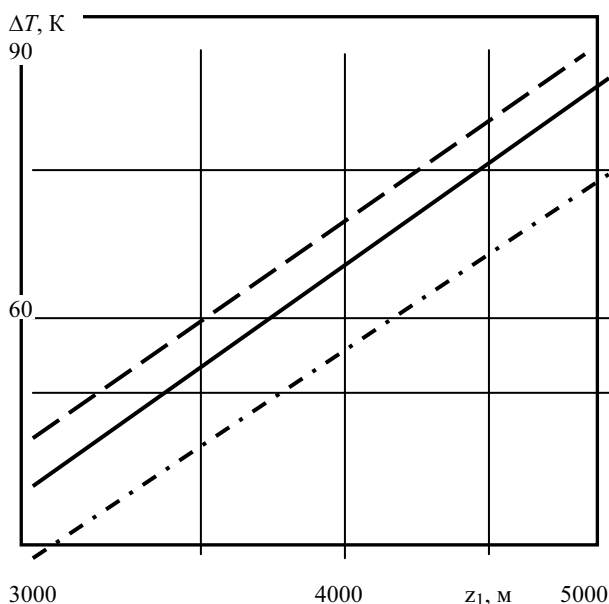


Рис. 3. Зависимость разности температур теплоносителя на входе и выходе в геотермальный теплообменник от глубины скважины при различных значениях параметра β : штриховая линия – $\beta=0,002$; сплошная линия – $\beta=0,015$; штрих-пунктирная линия – $\beta=0,001$

Откуда получаем:

$$z_2 = z_1 + \frac{1}{\beta} \ln \frac{G}{G + \beta(t_{g0} + Gz_1 - T_{\text{нач}})}. \quad (23)$$

Определяем выражение для разности температур теплоносителя на выходе и входе в скважину. На выходе температура $T_{\text{кон}}$ определяется как температура грунта на глубине z_2 .

$$\Delta T = T_{\text{кон}} - T_{\text{нач}} = T_{g0} + Gz_2 - T_{\text{нач}}. \quad (24)$$

График зависимости ΔT в градусах от z_1 при различных значениях β представлен на рис. 3.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработан метод расчета геотермального теплообменника противоточного типа и приведены данные по повышению температуры теплоносителя, представляющие практический интерес. В рассмотренной схеме нагреваемый теплоноситель движется снизу вверх. Возможно и обратное направление, при котором теплообменная поверхность наружной трубы будет использоваться более эффективно.

Полученные расчетные данные говорят об эффективности установок предлагаемого типа.

Конкретные значения интенсивности нагрева, глубины скважины и режимных параметров, рассчитанные по предлагаемой методике, определяются конкретными характеристиками отапливаемых помещений.

СПИСОК ОБОЗНАЧЕНИЙ

- G – градиент температур, К/м;
 - M – массовый расход воды, кг/с;
 - z_1 – глубина скважины, м;
 - z_2 – глубина изолирующего слоя, м;
 - T_{g0} – температура поверхности земли, К;
 - T_f – температура теплоносителя, К;
 - $T_{\text{нач}}$ – температура воды в начале геотермального теплообменника, К;
 - β – теплообменный комплекс, с/м;
- Общепринятые обозначения не поясняются.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Твайделл Дж., Уэйр А. Возобновляемые источники энергии: Пер. с англ. М.: Энергоатомиздат, 1990.