

УДК 536.242

Ю.П.Морозов, канд.техн.наук, В.В.Величко (Ин-т возобновляемой энергетики НАН Украины, Киев)

Сравнение с экспериментальными данными расчетов теплового воздействия скважины на окружающий горный массив

Проведены сравнения расчетов с экспериментальными данными, которые подтвердили обоснованность разработанной методики расчета температурного поля горного массива при тепловом воздействии скважин.

Проведені порівняння розрахунків з експериментальними даними, які підтвердили обґрунтованість розробленої методики розрахунку температурного поля гірського масиву при тепловому впливі свердловин.

Проблема теплового расчета систем извлечения и аккумуляции теплоты в верхних слоях Земли связана с необходимостью определения температурного поля горного массива, который окружает скважины. Если тепловой производительности таких систем посвящено значительное количество работ, то исследованию температурного поля горного массива, особенно в природных условиях, уделено значительно меньшее внимание.

Экспериментальные исследования процессов теплообмена в скважинах проводились на установке, созданной на территории Национального ботанического сада им. Н.Н.Гришко НАН Украины (Киев). В состав установки входят 7 скважин (одна

эксплуатационная №7(В) и шесть измерительных №№1-6) глубиной до 20 м для размещения датчиков температуры (42-х термопар) и обустройства аккумулятора теплоты, многоточечная система автоматического измерения температур для опроса, регистрации, архивирования данных и гидравлическая система жизнеобеспечения для подачи, регулирования, циркуляции и нагрева теплоносителя. Схема размещения скважин на участке и датчиков температур (термопар) в скважинах приведена на рис. 1. Подробно эта установка описана авторами в статье "Експериментальна установка з дослідження теплових процесів у вертикальних свердловинах в натурних умовах" [1].

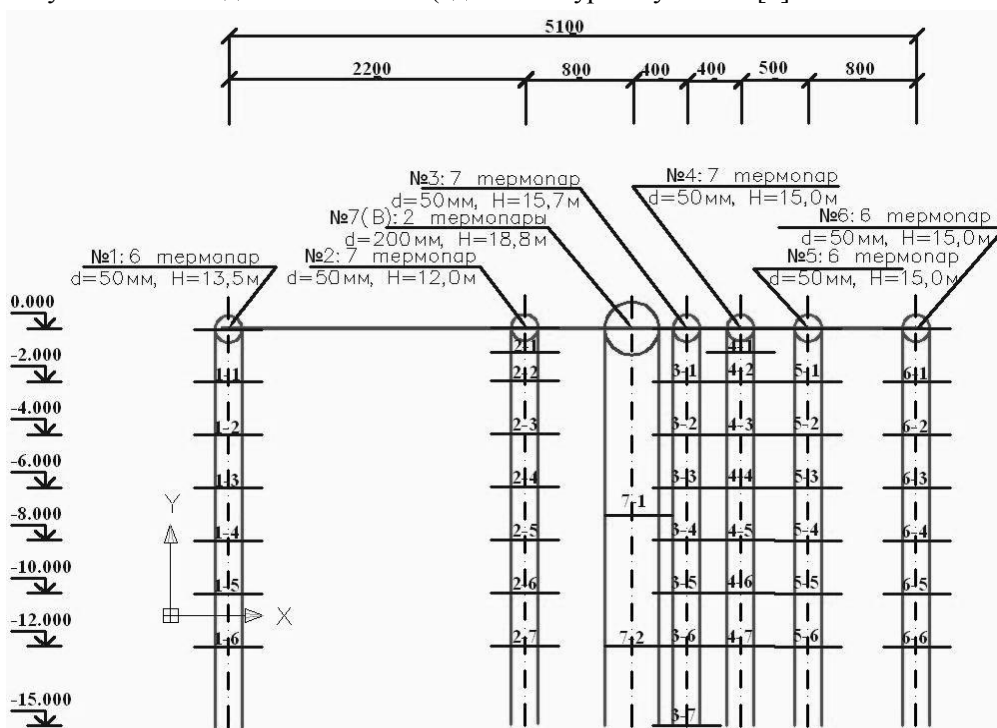


Рис. 1. Схема размещения скважин на участке и датчиков температур (термопар) в скважинах.

Нагревание эксплуатационной скважины №7(В) проводилось путем непрерывной закачки воды через погруженную на дно скважины трубку, а излив воды на поверхность осуществлялся по межтрубному пространству через верхнюю кромку обсадной трубы.

Проводим замеры температуры в скважинах для наблюдений при разных значениях теплового потока в эксплуатационной скважине №7(В). Регистрацию температуры проводим в автоматическом режиме с помощью многоточечной системы измерения температур, состоящей из термодпар, устройств контроля температуры, преобразователей интерфейсов и персонального компьютера.

На рис. 2 показано сравнение изменения температурного поля в наблюдательной скважине №3 при тепловом воздействии от скважины №7(В). Расчеты проводим по методике, изложенной в [2], в которой предлагается зависимость теплового потока от горного массива учитывать путем введения коэффициента нестационарного теплообмена, который рассчитывается на соответствующее значение времени на основании аналитического решения дифференциального уравнения [3]:

$$\frac{1}{R} \frac{\partial}{\partial R} R \frac{\partial T}{\partial R} = \frac{1}{a} \frac{\partial T}{\partial \tau}, \quad (R_c < R < R_\infty, 0 < \tau < \infty). \quad (1)$$

При граничных условиях:

$$T = T_n \text{ при } \tau = 0; \quad (2)$$

$$T \rightarrow T_n \text{ при } R \rightarrow \infty, \tau > 0; \quad (3)$$

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial R} + \alpha(T - T_g) = 0 \text{ при } R = R_0 \quad (4)$$

получена зависимость для определения коэффициента нестационарной теплоотдачи K_τ и теплового потока $q_{(\tau)}$ при числах Фурье (F_0) в интервале 0,5÷25 и Био (Bi) в интервале 0,5÷25:

$$K_\tau = 0,5 F_0^{-0,5} Bi^{0,15} \frac{\lambda_m}{R_{ce}}. \quad (5)$$

Тепловой поток в зависимости от времени равняется:

$$q_{(\tau)} = K_\tau \cdot \Delta T. \quad (6)$$

Температуру горного массива определяем по зависимости [4, 5]:

$$T(R, t) = T_0 + \frac{q_{(\tau)} R_c}{2\lambda_m} \ln \frac{4at}{CR^2}, \quad (7)$$

где $\ln C = \gamma$, а $\gamma = 0,57722\dots$ – постоянная Эйлера.

Сравнение результатов экспериментов с расчетами показывает, что для математической модели, в которой учитывается изменение теплового потока нагревательной скважины, погрешность результатов составляет 5-10%, что дает основание подтвердить обоснованность разработанной математической модели.

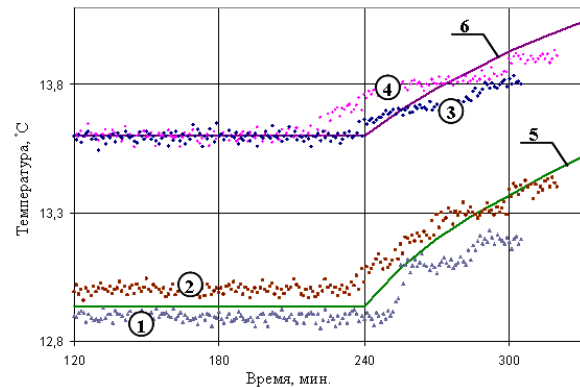


Рис. 2. Сравнение экспериментальных и расчетных данных изменения температуры со временем в скважине №3 на расстоянии 0,4 м от нагреваемой скважины №7(В) (эксперименты №11 – 17.05.2012, №12 – 23.05.2012):
 1 – эксперимент №11 – 6 м; 2 – эксперимент №11 – 8 м;
 3 – эксперимент №12 – 6 м; 4 – эксперимент №12 – 8 м;
 5 – расчет №11; 6 – расчет №12.

Выводы. 1. Разработана методика исследования тепловых процессов в вертикальных скважинах в натуральных условиях.

2. Проведены пять серий экспериментов по закачке нагретой воды в скважины и ее остыванию во времени.

3. Сравнение результатов экспериментов с расчетами показывает, что для математической модели, в которой учитывается изменение теплового потока нагревательной скважины во времени, погрешность результатов составляет 5-10%, что дает основание подтвердить обоснованность разработанной методики расчета.

1. Морозов Ю.П., Величко В.В., Туз В.О., Олійніченко В.Г. Экспериментальна установка з дослідження теплових процесів у вертикальних свердловинах в натурних умовах // Відновлювана енергетика. – 2011. – №1 (24). – С. 82–88.

2. Морозов Ю.П. Метод теплового розрахунку підземних теплообмінників і акумуляторів // Відновлювана енергетика. – 2012. – № 3. – С. 66–70.

3. Щербань А.Н., Кремнев О.А. Научные основы расчета и регулирования теплового режима глубоких шахт / Издательство Академии наук УССР. – 1959. – Т.1. – К. – 430 с.

4. Морозов Ю.П., Мейнарович С.В. Аналітичний розв'язок задачі визначення температури гірського масиву після припинення теплової дії свердловини // Відновлювана енергетика. – 2012. – № 2. – С. 65–69.

5. Карслоу Г., Егер Д. Теплопроводность твердых тел. – М.: Наука, 1964. – 488 с.