Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. XXXIX, вып. 2, 1961 г.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИАМЕТРА ЗОНЫ НАРУШЕНИЯ ТЕРМИЧЕСКОГО ПОЛЯ ВОКРУГ СКВАЖИНЫ

Г. А. Черменский

В настоящее время широко используются материалы термических измерений в скважинах для определения геотермического градиента, температуры пластовых вод и горных пород в их естественных условиях залегания. Однако эти материалы не всегда обладают надлежащей точностью. Одной из основных причин, вызывающих появление погрешностей при определении температуры горных пород и пластовых вод, является нарушение скважиной естественного теплового поля Земли, т. е. нарушение стационарного термического режима района [5].

Как известно, в процессе бурения скважины под воздействием бурового раствора происходит изменение температуры пород, прилегающих к ее стенкам. При этом буровой раствор охлаждает породы на забое и нагревает в верхней части скважины. Изменение температуры зависит от термических свойств горных пород и бурового раствора, от скорости и длительности промывки ствола скважины, от начальной разности температур бурового раствора и горных пород и прочих причин.

Для характеристики искажения стационарного термического режима района, нарушенного бурением скважины, требуется найти в заданный момент времени распределение аномального температурного поля в горных породах, окружающих скважину. Эта задача в общем виде очень сложная. В целях ее упрощения предположим, что скважина, прошедшая в однородных изотропных неограниченных породах, обладает относительно своей длины бесконечно малым диаметром. Кроме того, допустим, что тепловая мощность бурового раствора, являющегося источником аномального теплового поля, постоянна. Такие допущения вполне справедливы для отдельных интервалов глубоких скважин, промываемых сравнительно равномерно.

Поставленная задача сводится к решению уравнения

$$\frac{\partial^2(\Delta t)}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial(\Delta t)}{\partial r} = \frac{1}{a}\frac{\partial(\Delta t)}{\partial \tau},$$

где Δt — изменение температуры в точке измерения на расстоянии r от оси скважины;

a — коэффициент температуропроводности;

τ — время.

Решение этого уравнения имеет вид [7, стр. 866]:

$$\Delta t = \frac{1}{C}\int_{x}^{\infty} e^{-l}\frac{dl}{l} = \frac{1}{C}\left[-E_i(-x)\right], \qquad (1)$$

где $C = \frac{4\pi\lambda}{q}$;

q — тепловая мощность бурового раствора или количество тепла, выделяемого в единицу времени единицей длины скважины;

λ — коэффициент теплопроводности;

$x = \frac{r^2}{4a\tau}$;

E_i — экспоненциальный интеграл (функция «Ei»), при $x = 0$ равен $+\infty$, при $x = 0{,}26$ близок к единице и при $x = +\infty$ равен нулю; эта функция при возрастании аргумента x уменьшается значительно быстрее показательной функции e^{-x}.

Изменение температуры в точке наблюдения, вызванное нарушением термического режима, является аномальной разностью температуры. Эта разность Δt, согласно выражению (1), на расстоянии r от оси скважины прямо пропорциональна тепловой мощности q источника тепла (холода), обратно пропорциональна коэффициенту теплопроводности λ, зависит от времени τ и коэффициента температуропроводности a.

Коэффициенты теплопроводности и температуропроводности горных пород по существующим в настоящее время данным изменяются для всего комплекса пород в несколько раз (см. табл. 1). Такой диапазон изменения вызывается зависимостью термических свойств горных пород от пористости, влажности, зернистости, слоистости, минералогического состава и от прочих причин [1, 2, 6]. В связи с обратно пропорциональной зависимостью Δt от λ при постоянстве величин r, q, a и τ аномальная разность температур может изменяться во столько же раз, во сколько изменяется теплопроводность.

Таблица 1

Средние пределы изменения термических свойств горных пород

[2, стр. 62; 6, стр. 253—254]

Горные породы	λ, *ккал/м · час* °С	a, *м²/час*·10^3
Магматические (габбро, базальты, граниты, диабазы, диориты)	1,5—3,1	2,2—5,9
Осадочные:		
глины	0,86—2,56	1,6—3,5
пески	0,24—1,78	1,0—2,9
песчаники плотные	1,1—2,6	2,8—5,0
сланцы углистые, глинистые, хлоритовые	0,72—1,88	1,7—3,5
известняки, доломиты	0,85—1,88	1,6—4,33
мраморы	2,6—3,2	5,5
каменная соль	6,2	14,0
вода	0,5	0,51

Более сложная зависимость существует между Δt и r при постоянных значениях $a\tau$ и $\frac{\lambda}{q}$ (рис. 1). Величина $C\Delta t$ больше изменяется при $0 < r < 2$ и меньше при значениях r, превышающих 2 *м*.

Не менее сложная зависимость существует между Δt, a и τ при постоянстве остальных величин. В знаменателе аргумента функции «Ei» находится произведение $a\tau$; поэтому если увеличить (уменьшить) коэффициент температуропроводности a и уменьшить (увеличить) время τ во столько же раз, то в этом случае величина Δt останется постоянной.

Диаметр зоны нарушения стационарного термического режима района скважиной при постоянных q и λ возрастает с увеличением $a\tau$. Значение этого диаметра зависит от погрешностей измерений температуры. При удвоенной относительной погрешности, равной 0,01; 0,02; 0,1 и 0,2, радиусы зоны нарушения термического режима характеризуются соответственно

$$\left.\begin{aligned} r &= 2{,}54\sqrt{a\tau};\quad r = 2{,}03\sqrt{a\tau} \\ r &= 0{,}764\sqrt{a\tau};\quad r = 0{,}311\sqrt{a\tau} \end{aligned}\right\}. \qquad (2)$$

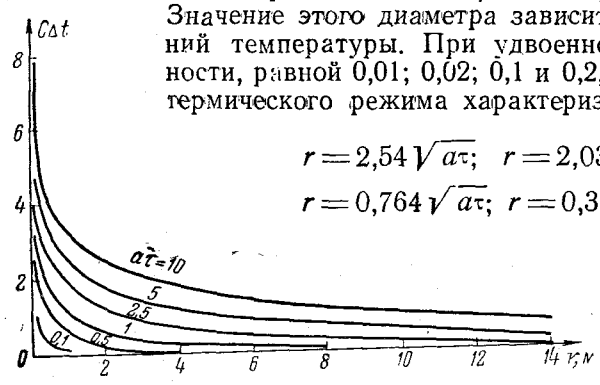


Рис. 1. Зависимость $C\Delta t$ от r

Следовательно, радиус уменьшается с увеличением относительной погрешности измерений температур. Для любых значений удвоенной относительной погрешности измерения температур выражение (2) можно представить в следующем виде:

$$r = A\sqrt{a\tau} = B\sqrt{\tau}. \qquad (3)$$

Используя эту зависимость (рис. 2), можно по значению $a\tau$ определить диаметр зоны нарушения термического режима без учета влияния скважины и прочих причин. В реальной скважине при непрерывной ее про-

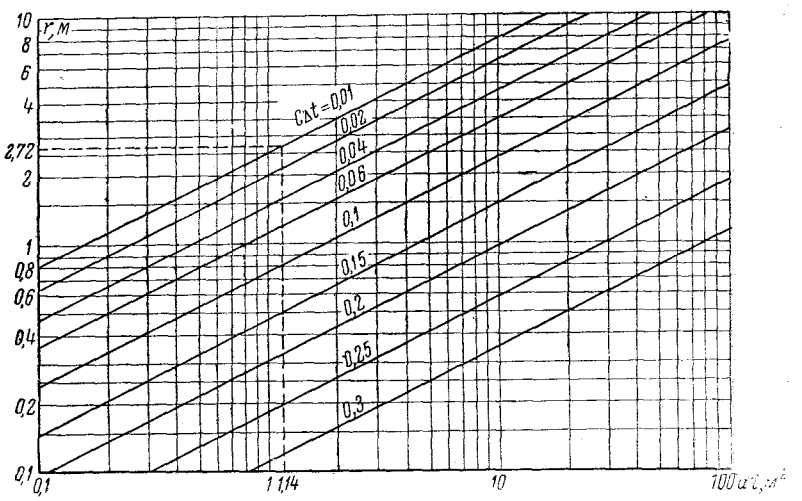


Рис. 2. Зависимость r от $a\tau$ [по формуле (3)]

мывке буровым раствором тепло распространяется в основном от стенок. Такое распространение тепла происходит в плотных непроницаемых породах. В проницаемых породах в процессе бурения скважины фильтрат бурового раствора проникает в породы и охлаждает (нагревает) их. Фильтрат бурового раствора может проникать в этих породах за

стенки скважины на расстояние от 0,3 *м* до нескольких метров [3, стр. 442]. Для таких пород тепло или холод, нарушающие термический режим, будут распространяться не от стенок скважины, а от границы, лежащей в зоне проникновения бурового раствора. В этом случае необходимо ввести понятие эффективного диаметра скважины, т. е. использовать фиктивную скважину, от стенок которой, практически можно считать, распространяется тепло или холод.

Для учета влияния скважины, а в проницаемых породах — и зоны проникновения фильтрата бурового раствора на искажение термического режима необходимо ко времени τ добавить время $\tau_э$, равное времени распространения тепла (холода) от оси скважины на расстояние эффективного радиуса $r_э$. Для цилиндрических источников тепла конечного диаметра это добавочное время можно принять равным [7, стр. 869]

$$\tau_э = \frac{r_э^2}{4a}. \qquad (3')$$

При $r_э$, равном 0,1 и 1 *м*, $\tau_э$ соответственно равно 2,5 и 6,25 *час*, если $a = 0{,}001$ *м²/час*, и $\tau_э$ равно 250 и 25 *час*, если $a = 0{,}01$ *м²/час*. Значение $\tau_э$ особенно велико для скважин с большим эффективным радиусом.

Выражения (1) и (3) с учетом $\tau_э$ можно переписать:

$$C\Delta t = \left[-E_i\left(-\frac{r^2}{4a\tau_1}\right)\right]; \qquad (4)$$

$$r = A\sqrt{a\tau_1}, \qquad (5)$$

где $\tau_1 = \tau + \tau_э$.

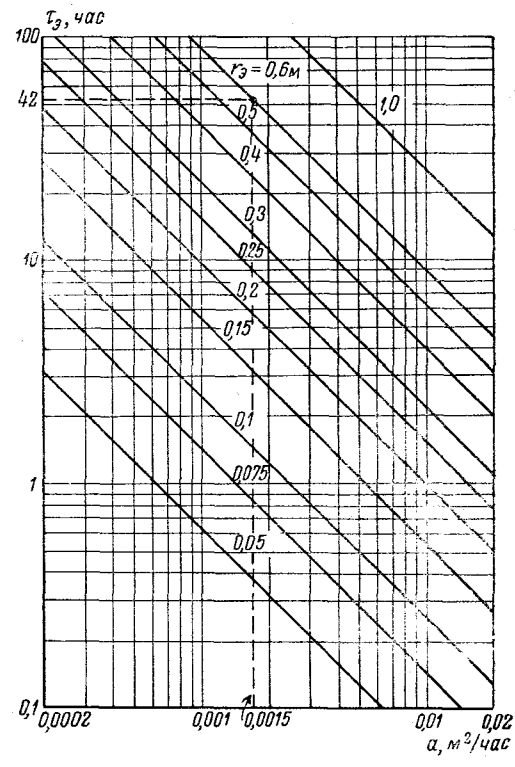


Рис. 3. Зависимость $\tau_э$ от a [по формуле (3')]

Выражения (4) и (5) показывают, что переход от скважины бесконечно малого диаметра к скважинам с конечными и эффективными диаметрами вызывает увеличение Δt и r.

При вычислении радиуса зоны нарушения стационарного режима реальной скважиной можно использовать графические зависимости рис. 2 и 3. Использование этих зависимостей рассмотрим на следующем примере.

Требуется определить радиус зоны нарушения термического режима в мощных песчаниках при $C\Delta t = 0{,}01$; $a = 0{,}0015$ *м²/час* и $r_э = 0{,}5$ *м*. Скважина в этих песчаниках бурилась с равномерной промывкой в течение 30 суток.

Для определения поправочного времени $\tau_э$ откладываем на оси абсцисс рис. 3 значение $a = 0{,}0015$ *м²/час* и восстанавливаем перпендикуляр до пересечения с прямой $r_э = 0{,}5$ *м*. Ордината точки пересечения является поправочным временем, равным $\tau_э = 42$ *час*.

Затем вычисляем значение

$$a\tau_1 = a(\tau + \tau_э) = 0{,}0015\,(30 \cdot 24 + 42) = 1{,}143 \text{ м}^2.$$

Наконец, по этому значению и зависимости $r = f(a\tau)$ при $C\Delta t = 0{,}01$ (см. рис. 2) находим $r = 2{,}72$ *м*.

Определим радиус зоны нарушения термического режима по тем же данным, но для толщи, разбуренной в течение 300 суток.

Для этой скважины

$$a\tau_1 = a(\tau + \tau_э) = 0{,}0015\,(300 \cdot 24 + 42) = 10{,}86\ м^2 \text{ и } r = 8{,}4\ м.$$

Таким же способом определим радиус зоны нарушения термического режима для пород с коэффициентом температуропроводности $a = 0{,}005$ *м*^{2}/*час*. Для рассмотренных длительностей бурения скважин с этим значением a радиусы зоны нарушения термического режима соответственно равны 4,95 и 15,2 *м*. Следовательно, при длительной промывке скважины диаметр зоны нарушения термического режима может достигать 20, 40 *м* и больше. При этом для пород с различными термическими свойствами диаметр уменьшается с понижением температуропроводности.

Полученные значения диаметра зоны нарушения термического режима вычислены при значении $C\Delta t = 0{,}01$, соответствующем высокой точности измерения температур в скважинах. В действительности же в настоящее время точность измерения температур невелика. Обычно измерение температур в скважинах производят с абсолютной погрешностью, превышающей $\pm 0{,}5°$. Такие абсолютные погрешности при амплитуде нарушения температур в 10° создают относительные погрешности, превышающие $\pm 5\%$. Однако и при таких погрешностях даже для непроницаемых пород при длительной промывке скважины величина $2r$ может достигать 10, 20 *м* и больше.

Отдельные интервалы геологических разрезов скважин могут быть представлены переслаиванием проницаемых и непроницаемых пород. В этом случае при определении радиуса зоны нарушения термического режима необходимо учитывать истинный диаметр скважины, мощность пластов, их физические свойства и другие факторы. Учет влияния всех этих факторов на величину зоны нарушения термического режима является сложной задачей. В случае разбуривания песчано-глинистых разрезов в процессе бурения скважин происходит образование каверн в глинистых породах. Диаметр каверн зависит от механических свойств пород, интенсивности и продолжительности промывки скважин, а также и от других причин. Значение диаметра каверн может достигать двух и более диаметров скважины. Термические свойства глинистых пород могут быть выше, чем вмещающих. Все эти причины могут способствовать созданию в глинистых толщах зон нарушения увеличенного диаметра.

В случае же частого переслаивания сравнительно маломощных песчано-глинистых пластов вследствие взаимного теплообмена между пластами возможно образование в них зон нарушения термического режима с примерно одинаковыми диаметрами. Такое нарушение термического режима является, по-видимому, одной из причин получения в ряде районов СССР слабодифференцированных сглаженных термограмм, замеренных с целью определения геотермического градиента.

Выражения (1), (3)—(5) выведены на основании предположения, что постоянные источники тепла (холода) действуют непрерывно. В действительности в процессе бурения скважины и в последующее время ее существования происходят перерывы в промывке ствола скважины буровым раствором. В такие периоды породы, примыкающие к стенкам скважин, охлаждаются (нагреваются) и нарушение термического режима уменьшается. Для учета влияния перерыва в промывке скважины

на величину Δt введем в момент прекращения промывки эквивалентный источник тепла (холода) той же мощности, но с противоположным знаком. Тогда из выражения (1) получим

$$C\Delta t' = \left\{\left[-E_i\left(-\frac{r^2}{4a\tau_2^*}\right)\right] - \left[-E_i\left(-\frac{r^2}{4a(\tau_2^* - \tau)}\right)\right]\right\}_{\tau^* \geqslant \tau}, \qquad (6)$$

где $\tau_2^* = \tau + \tau^*$ — время в момент определения $\Delta t'$;

τ^* — промежуток времени перерыва в промывке скважины.

Для скважины конечного диаметра выражение (6) можно переписать согласно выражению (4):

$$C\Delta t' = \left\{\left[-E_i\left(-\frac{r^2}{4a\tau_2}\right)\right] - \left[-E_i\left(-\frac{r^2}{4a(\tau_2 - \tau_1)}\right)\right]\right\}, \qquad (7)$$

где $\tau_2 = \tau_2^* + \tau_э = \tau_1 + \tau^*$.

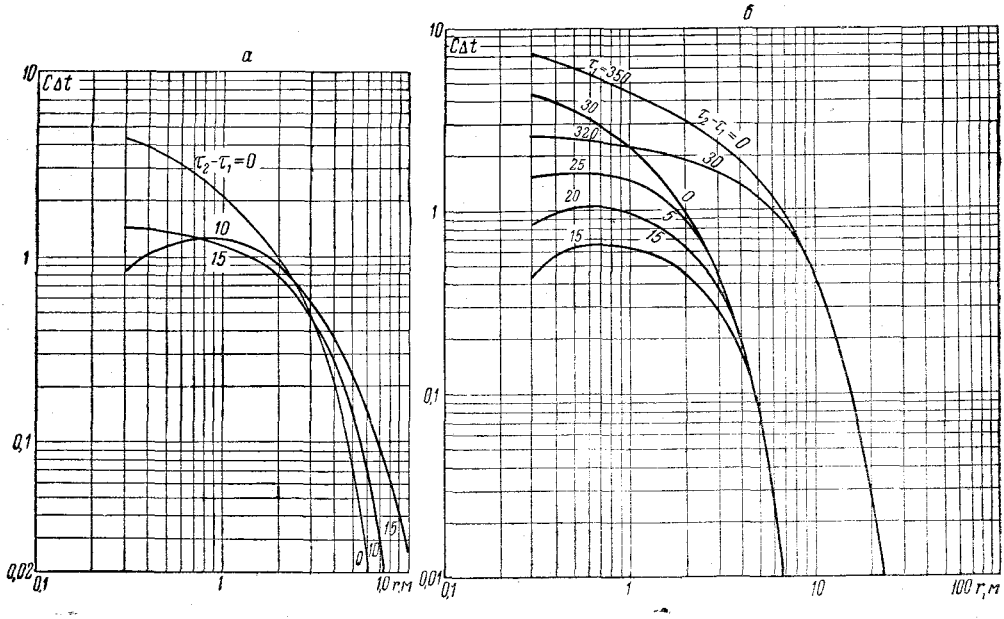


Рис. 4. Зависимость $C\Delta t$ от r при $a = 0{,}005$ $м^2/час$ [по формуле (7)]:
$а$ — при постоянном $\tau_1 = 30$ суткам; $б$ — при различном значении τ_1

После прекращения промывки скважины диаметр зоны нарушения стационарного термического режима продолжает увеличиваться, а амплитуда $\Delta t'$ в скважине уменьшаться (рис. 4). Понижение температуры в зоне нарушения термического режима во время прекращения промывки скважины способствует частичному восстановлению стационарного термического режима, нарушенного бурением.

Более наглядно термический режим в районе скважины характеризуется выражением

$$\frac{\Delta t''}{\Delta t_э} = \left\{\left[-E_i\left(-\frac{r^2}{4a\tau_2}\right)\right] - \left[-E_i\left(-\frac{r^2}{4a(\tau_2 - \tau_1)}\right)\right]\right\}\left[-E_i\left(-\frac{r^2}{4a\tau_1}\right)\right]^{-1}, \qquad (8)$$

где $\Delta t''$ — температура пород на расстоянии r от оси скважины, находящейся в покое в течение времени $\tau_2 - \tau_1$;

$\Delta t_э$ — температура на расстоянии $r_э$ в момент прекращения промывки скважины.

Как видно из рис. 5, термический режим, нарушенный бурением скважины, восстанавливается сравнительно медленно. Даже в том случае, когда скважина равномерно промывается в течение 10 суток и в последующие 30 суток находится в покое, не наблюдается полного восстановления термического режима. То же происходит в районе скважины, непрерывно бурившейся в течение 100 суток и затем 100 суток простаивающей в покое. Наиболее медленное восстановление термического режима происходит в скважинах, которые непрерывно бурятся более длительное время и эффективный диаметр которых больше.

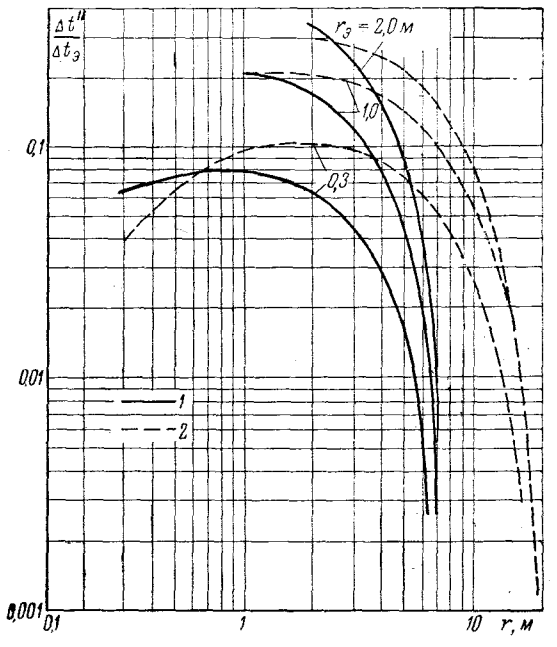


Рис. 5. Зависимость $\frac{\Delta t''}{\Delta t_э}$ от r при $a = 0{,}005$ $м^2/час$ [по формуле (8)]:
1 — τ_2=40 суткам; $\tau_2 - \tau_1$=30 суткам; 2 — τ_2=200 суткам; $\tau_2 - \tau_1$ = 100 суткам

Кривые типа приведенных на рис. 5 позволяют определять диаметр зоны нарушения термического режима по величине погрешности измерения температур. Так, например, определим диаметр зоны нарушения термического режима по следующим данным: $\tau_2 = 40$ суток; $\tau_2 - \tau_1 = 30$ суткам; $a = 0{,}005$ $м^2/час$; $r_э = 0{,}3$ и 1 $м$; относительная погрешность измерения температур $\eta = \pm 5\%$.

Для получения уверенного значения температур в зоне нарушения термического режима необходимо, чтобы значение $\frac{\Delta t''}{\Delta t_э}$ было больше удвоенной относительной погрешности. При меньших значениях температур $\frac{\Delta t''}{\Delta t_э}$ лежит в пределах погрешностей измерений. Отсюда, полагая $\frac{\Delta t''}{\Delta t_э} = 0{,}1$, по кривой рис. 5 находим, что зона нарушения термического режима отсутствует при $r_э = 0{,}3$ $м$. При тех же данных и эффективном радиусе скважины 1—2 $м$ диаметр зоны нарушения термического режима достигает 7—10 $м$. При увеличении длительности промывки скважины до 100 суток диаметр зоны нарушения термического режима через 100 суток после прекращения бурения при $r_э = 1-2$ $м$ соответственно достигает 14—18 $м$.

Такие зоны нарушения термического режима могут внести некоторые погрешности в замеры температуры пластовых вод, производимые во время гидрогеологического опробования водоносных горизонтов.

Подсчитаем, сколько объемов скважины следует откачать из водоносного горизонта, чтобы удалить воду, содержавшуюся в порах породы зоны нарушения термического режима. Если пренебречь объемом остаточной воды, то объем воды, находящейся в порах породы этой зоны,

$$V = \frac{\pi (D^2 - d_c^2)}{4} h k_э, \qquad (9)$$

где D — диаметр зоны нарушения термического режима;
$d_с$ — диаметр скважины;
h — мощность водоносного пласта;
$k_э$ — коэффициент эффективной пористости пород.

Объем скважины до глубины H залегания подошвы водоносного пласта

$$V_с = 0{,}25\pi d_с^2 H. \tag{10}$$

При совместном решении выражений (9) и (10) имеем

$$\frac{V}{V_с} = \frac{D^2 - d_с^2}{d_с^2} \cdot \frac{h}{H} k_э. \tag{11}$$

Если $D = 10$ *м*; $d_с = 0{,}3$ *м*; $k_э = 0{,}20$; $H = 1000$ *м* и $h = 20$ *м*, то

$$\frac{V}{V_с} = 4{,}4.$$

В этом случае только для того, чтобы извлечь пластовую воду из порового пространства зоны нарушенного термического режима, необходимо откачать более четырех объемов скважины. При этом даже когда в скважину поступает пластовая вода из области, лежащей за зоной нарушения термического режима, температура ее не будет соответствовать температуре, существовавшей на данной глубине до бурения скважины. Для получения температуры пластовых вод без погрешностей, вызванных бурением скважины, необходимо зону нарушения охладить (нагреть) достаточным количеством воды.

При достаточно медленной промывке зоны нарушения объем пластовой воды, необходимой для восстановления термического режима,

$$V_в = \frac{C(\delta - k_э\delta_в)}{C_в\delta_в\eta}, \tag{12}$$

где C и $C_в$ — теплоемкость породы и пластовой воды;
δ и $\delta_в$ — плотность породы и пластовой воды.

На основании выражений (11) и (12)

$$\frac{V_в}{V_с} = \frac{C(\delta - k_э\delta_в)}{C_в\delta_в\eta} \cdot \frac{D^2 - d_с^2}{d_с^2} \cdot \frac{h}{H} k_э. \tag{13}$$

Для данных рассмотренного примера и при $\delta = 1630$ *кг/м*^{3}

$\delta_в = 1000$ *кг/м*^{3}; $C_в = 1$ *ккал/кг*°С; $C = 0{,}23$ *ккал/кг*°С; $\eta = \pm 0{,}5$

для промывки зоны нарушения термического режима следует откачать 29 объемов скважины из испытуемого пласта. Такое большое количество воды необходимо для восстановления термического режима в области застойных вод.

При наличии в водоносных горизонтах движения пластовых вод зона нарушения термического режима смещается относительно оси скважины по направлению движения этих вод. Смещение происходит тем быстрее, чем больше скорость фильтрации $v_ф$.

В большинстве артезианских бассейнов скорость фильтрации с глубиной уменьшается. В таких бассейнах смещение зоны искаженных температур, а вместе с тем восстановление термического режима в скважине происходят быстрее в верхних частях разреза и медленнее — в нижних. Геотермограммы, снятые в подобных условиях в верхних частях разреза, могут соответствовать восстановленному стационарному

режиму и в нижних частях — нарушенному режиму. Таким образом, установление термического режима на глубине нейтрального слоя (слоя среднегодовых температур) не всегда может служить указанием на наступление теплового равновесия по всей скважине. Это ограничивает применимость способа установления термического режима по всей скважине, основанного на измерении температур на глубине нейтрального слоя.

Определим время $\tau_ф$, необходимое на восстановление термического режима на оси скважины за счет промывки зоны нарушения температур пластовыми водами. Для этого разделим выражение (12) на сечение зоны нарушения, проходящее через ось скважины, высотой 1 *м* и на скорость фильтрации $v_ф$. Тогда

$$\tau_ф = \frac{v_в}{Dv_ф} = \frac{C(\delta - k_э\delta_в)v}{DC_в\delta_в\eta v_в}. \qquad (14)$$

Полагая $v = \frac{D^2}{2}$, получим

$$\tau_ф = \frac{C(\delta - k_э\delta_в)D}{2C_в\delta_в\eta v_ф}. \qquad (15)$$

Для данных рассмотренного примера и при $v_ф$, равном 0,3 и 1,0 *м/сутки,* время восстановления термического режима соответственно равно 100 и 33 суткам. Полученные значения времени, необходимого для восстановления термического режима, завышены, так как не учтено смещение зоны нарушения в направлении движения пластовых вод в процессе бурения скважины.

Большой практический интерес представляет определение времени, необходимого для восстановления термического режима района скважин в области застойных вод. Воспользуемся выражением, выведенным для остывающего (нагревающегося) цилиндра радиусом r, состоящего из однородной среды, физические свойства которой равны физическим свойствам вмещающей среды. Разность температур на оси такого цилиндра относительно температуры вмещающей среды за зоной нарушения термического режима [2, стр. 87]

$$\Delta t = \Delta t_0\left(1 - e^{-\frac{r^2}{4a\tau}}\right), \qquad (16)$$

где Δt_0 — начальная разность температур;

τ — время с момента охлаждения (нагревания) цилиндра.

Полагая r равным эффективному радиусу зоны нарушения температур, из выражения (16) получаем

$$\tau = -\frac{r^2}{4a}\left[\ln\left(1 - \frac{\Delta t}{\Delta t_0}\right)\right]^{-1} = -\frac{r^2}{4a}\left[\ln(1-\eta)\right]^{-1},$$

где $\eta = \frac{\Delta t}{\Delta t_0}$ — относительная погрешность определения температур.

Время восстановления термического режима прямо пропорционально квадрату эффективного радиуса зоны нарушения и обратно пропорционально коэффициенту температуропроводности.

При η, равном $\pm 0{,}10$; $\pm 0{,}05$ и $\pm 0{,}01$, время восстановления термического режима соответственно равно

$$\tau = 2{,}37\frac{r^2}{a};\ \tau = 4{,}87\frac{r^2}{a};\quad \tau = 25\frac{r^2}{a}.$$

Если положить $\eta = \pm 0{,}1$; $a = 0{,}005$ *м²/час*; r равным 1, 2 и 3 *м*, то время восстановления термического режима соответственно будет: 19,8; 79 и 172 суток. Эти значения также завышены, так как в процессе бурения по мере углубления скважины охлажденные породы постепенно нагреваются промывочной жидкостью, поднимающейся к устью скважины.

Однако на необходимость длительного простоя глубоких скважин для восстановления термического режима указывают данные экспериментальных исследований, произведенных в скважинах Западно-Сибирской низменности [5], в Молдавской ССР [4] и других геологических провинциях. При гидрогеологическом опробовании водоносных горизонтов в Западно-Сибирской низменности температура измерялась после сравнительно длительного простоя скважин без промывки (табл. 2).

Таблица 2

Температура при геотермических исследованиях скважин и гидрогеологическом опробовании водоносных горизонтов в Западно-Сибирской низменности

Скважина	Глубина забоя и глубина измерения H, *м*	Время простоя перед термокаротажем, сутки	Температура, измеренная при		$t_1 - t_2$ на глубине H, *град*
			опробовании t_1, *град*	термокаротаже t_2, *град*	
Кузнецово	950/820	38	60	44	+16
Славгород	618/560	51	16	15	+ 1
Викулово	2049/1600	25	84	43	+41
Колпащево	1820/1690	50	81	53	+28

Время восстановления термического режима при прочих равных условиях находится в зависимости от глубины скважины, от длительности ее бурения и промывки. В ряде районов (Западно-Сибирская низменность, Молдавская ССР и др.) в скважинах глубиной 500 *м* термический режим не восстанавливается за 50 суток. Для скважин более глубоких время восстановления термического режима должно быть соответственно бо́льшим.

Выводы

1. Диаметр зоны нарушения термического режима, вызванного бурением скважины, зависит от диаметра скважины и зоны проникновения бурового раствора в проницаемые пласты, от интенсивности и длительности промывки скважины, температуры и физических свойств горных пород и бурового раствора, от особенностей геологического разреза скважин и скорости фильтрации пластовых вод.

2. Диаметр зоны нарушения термического режима увеличивается с возрастанием длительности промывки скважины и времени простоя скважины без промывки. Увеличение происходит до момента выравнивания температур.

3. Под влиянием фильтрации пластовых вод зона нарушения термического режима смещается по направлению движения вод.

4. Необходимое время простоя скважины в покое перед геотермическими исследованиями в основном определяется диаметром зоны нарушения термического режима, геологическими и гидрогеологическими особенностями района.

5. Как показали произведенные исследования, можно приближенно оценить время, необходимое для восстановления термического режима. Для дальнейшего уточнения времени восстановления термического режима, нарушенного бурением, необходима постановка соответствующих экспериментальных исследований в различных геологических условиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дахнов В. Н. Интерпретация результатов геофизических исследований разрезов скважин. Гостоптехиздат, 1955.
2. Дахнов В. Н. и Дьяконов Д. И. Термические исследования разрезов скважин. Гостоптехиздат, 1952.
3. Рассел У. Л. Основы нефтяной геологии. Гостоптехиздат, 1958.
4. Фролов Н. М. Геотермические условия Молдавской ССР. Изд-во АН СССР, 1958
5. Череменский Г. А. Результаты геотермических исследований в Сибири. Проблемы геотермии и практического использования тепла Земли. Т. 1. Изд-во АН СССР, 1959.
6. Чудновский А. Ф. Теплообмен в дисперсных средах. ГИТТЛ, 1954.
7. Van der Held und Van der Drunen F. Physika, 1949, N 15, p. 865–881.