

К определению времени релаксации горных пород, слагающих стенки ствола, при бурении геотермальных скважин

Т.Ш. Салаватов, д.т.н.¹, Я.И. Сафаров, д.ф.т.н.², С.А. Мусаева³

¹Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности,
²НИИ "Геотехнологические проблемы нефти, газа и химия",
³НИПИнефтегаз
e-mail: petrotech@asoiu.az

Ключевые слова: геотермальная скважина, буровой раствор, альтернативная энергия, термальные воды.

DOI.10.37474/0365-8554/2020-11-26-29

Geothermal quyuuların qazılması zamanı quyu divarını təşkil edən dağ süxurlarının rəlxasiyası müddətinin təyini

T.Ş. Salavatov, t.e.d.¹, Y.I. Safarov, t.ü.f.d.², S.A. Musayeva³
¹Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti,
²"Neftin, qazın geotexnologiy problemləri və Kimya" ETI,
³"Neftqazəlmətdəqiqatlıyılı" İnstitutu

Açar sözlər: geotermal quyu, qazma məhlulu, alternativ enerji, termal su.

Maqalədə nazari və təcrübə tədqiqatları təhlil etmək, geotermal quyuular qazarkən quyu divarını təşkil edən süxurların rəlxasiyası vaxtının təyini cəhd edilir. Bu problemi həll etmək üçün qazma məhlulunun dövrəni sistemində məhlulun qararlaşmamış hərəkəti zamanı təzyiç düküşünün süxurlarda dəyişməsinin sonuncu nəzəriyyəsinə istinad istifadə edilmişdir. Nəticədə hesablamada düsturlar alınmışdır.

Üsul Muradkənlisəhəsinə 245 №-li quyuda sınaqdan keçirilmişdir.

On specification of relaxation time for subsurface rocks composing borehole walls in geothermal well drilling

T.Sh. Salavatov, Dr. in Tech. Sc.¹, Y.I. Safarov, PhD in Tech. Sc.², S.A. Musayeva³
¹Azerbaijan State University of Oil and Industry,
²"Geotechnological Problems of Oil, Gas and Chemistry" SRI,
³"Oil-Gas Scientific Research Project" Institute

Keywords: geothermal well, drilling mud, alternative energy, thermal water.

The paper makes an effort to specify the relaxation time of subsurface rocks composing the borehole wall during geothermal well drilling justifying theoretical and practical researches. To solve mentioned issues, a theory of dumping of pressure fluctuations in non-stationary motion of drilling mud in the circulation system of well, based on the data of change of pressure and time consumption is applied and as a result a calculation formula obtained.

The method has been tested in the well No 245 in Muradkənlisəhə area.

Введение

Одной из важнейших проблем в настоящее время является экономия энергоресурсов и замена таких невозобновляемых источников энергии как ветровая и солнечная, геотермическая, волновой, а также другими видами энергии.

Основным преимуществом термальных вод является то, что запасы их непрерывно возобновляются, имеется возможность получить тепло, энергию непосредственно на месте её потребления, они важны также и тем, что обладают целебными свойствами и возможностями получения ценных химических продуктов.

В связи с непрерывным ростом мирового потребления энергии и постепенным истощением традиционных энергоресурсов – нефти, газа, каменного угля в земной коре, внимание ученых и специалистов сосредоточено на поисках новых источников энергии. При этом особое значение придается весьма перспективной геотермальной энергии, запасы которой практически неограниченны, а использование не вызывает загрязнения окружающей среды.

Актуальность. Носителем глубинного тепла Земли является термальная вода и порогидротерия. Их использование в электроэнергетике конкурирует с нефтью, газом, углем, торфом как в экономическом, так и в санитарно-гигиеническом отношении.

Кроме того, в условиях надвигающегося на

мировую экономику энергетического кризиса, использование термальной энергии, являющейся одной из наиболее надежных видов возобновляемой альтернативной энергии в мире, становится все более актуальным.

Накопленный опыт бурения и проведенные в натуральных и моделирующих условиях исследования позволяют выделить основные типы нарушения целостности стенок скважины, дать им четкое определение и охарактеризовать их по признакам, причинам и последствиям [1, 2]. В работах [3, 4] приведена классификация типа нарушений целостности стенок скважины. К ним относятся раскрытие естественных и образование новых трещин, образование каверн и желобов, набухание, сужение, вытекание и обрушение.

Постановка задачи

В статье на основании теоретических и промысловых данных делается попытка определения времени релаксации слагающих ствол горных пород, при бурении геотермальных скважин. Для решения указанных задач используется теория затухания колебаний давления при нестационарном движении бурового раствора в циркуляционной системе скважины на основании данных об изменении давления и расхода во времени.

Горные породы земных недр находятся под воздействием всестороннего давления и высоких температур, влияние которых с ростом глубины залегания пород растет по сложной нелинейной зависимости. Под действием сил гравитации породы уплотняются в вертикальном направлении, что приводит к возникновению бокового горного давления, величина которого, как правило, меньше величины вертикального горного давления и равна

$$p_1 = \epsilon \cdot p_2, \quad (1)$$

где p_1 , p_2 – боковая и вертикальная составляющие горного давления, ϵ – коэффициент бокового давления (раствора).

Таким образом, горные породы, не разрушенные скважиной массива, находятся в сложном напряженном состоянии. В связи с этим ниже делается попытка определения времени релаксации горных пород в процессе бурения.

Метод решения. Для решения указанной задачи используется затухание колебания давления в горных породах.

Поэтому основные уравнения связи напряжения и деформации в случае упруго-вязкой среды имеют вид:

$$\sigma = \epsilon E + 2\mu(1+\nu) \frac{\partial \epsilon}{\partial t} - \frac{2}{3E}(1+\nu)(1-2\nu)\mu \frac{\partial \sigma}{\partial t}, \quad (2)$$

а для случая релаксирующей среды:

$$\frac{\partial \epsilon}{\partial t} = \frac{1}{3\mu} \sigma + \frac{1}{E} \frac{\partial \sigma}{\partial t}, \quad (3)$$

где σ – нормальное напряжение, ϵ – относительное удлинение, E – модуль упругости, ν – коэффициент Пуассона, μ – коэффициент вязкости.

Рассматривая нестационарное движение жидкости в трубе из отмеченных материалов в работах [2, 5] выведена система уравнений движения жидкости:

$$\frac{\partial(\rho w)}{\partial t} = \frac{\partial P}{\partial x} - \frac{\alpha \rho w}{f_0} \\ \frac{\rho_0}{k_1} \frac{\partial P}{\partial t} + \frac{\rho_0 \partial^2 P}{k_2 \partial t^2} = \left[\alpha_0 \frac{\partial(\rho w)}{\partial x} + \alpha_1 \frac{\partial^2(\rho w)}{\partial x \partial t} \right] \\ \frac{1}{k_1} = \frac{\alpha_0}{k_0} + \frac{2b_0 r_0}{\delta}; \quad \frac{1}{k_2} = \frac{\alpha_1}{k_0} + \frac{2h_0 r_0}{\delta}, \quad (4)$$

при этом для упруго-вязкой среды

$$\alpha_0 = 1; \quad \alpha_1 = \frac{2\mu}{E}(1+\nu); \quad b_0 = \frac{1}{E}; \\ h_1 = \frac{2}{3E}(1+\nu)(1-2\nu)\mu,$$

а для релаксирующей среды:

$$\alpha_0 = 1; \quad \alpha_1 = 0; \quad b_0 = \frac{1}{3\mu}; \quad h_1 = \frac{1}{E},$$

где k – модуль упругости жидкости, R – гидравлический радиус, f – площадь поперечного сечения трубы, a – радиус трубы, δ – толщина стенки трубы.

Примем, что в начальный момент времени нет движения, следовательно

$$(\rho w)_{t=0} = 0; \quad p(x, 0) = \frac{\partial p}{\partial t}(x, 0) = 0.$$

Зададим закон изменения давления и расхода во времени и определим постоянные коэффициенты, входящие в дифференциальные

уравнения. При этом задается одно дополнительное условие. В качестве дополнительно граничного условия примем, что давление жидкости при выходе из скважины равно атмосферному.

Таким образом, начальные и граничные условия имеют вид:

$$p(x, 0) = 0; \frac{\partial p}{\partial t}(x, 0) = 0; (\rho w)_{x=0} = 0 \quad (5)$$

$$p(0, t) = f(t); \rho w(0, t) = \varphi(t); p(l, t) = 0. \quad (6)$$

Для решения задачи применяется преобразование Лапласа и решая уравнение (4) при условиях (5, 6), воспользовавшись граничными условиями, получим:

$$\left\{ \frac{\varphi'(t_0)}{f'(t_0)} \right\}^2 \cdot \left(\frac{1}{f_0^2} + \frac{\alpha}{f_0 R} - \frac{\rho_0 f_0}{k_0} \right) \times \\ \times \frac{E t_0}{2 \rho_0 r_0 f_0} - t_2 = \frac{2 \mu' (1 + \gamma)}{E} + \frac{2 \mu' (1 + \gamma)(1 - 2a)}{3} - \\ - \frac{4 \mu'^2 (1 - \gamma)}{3 t_0} (1 - 2\gamma). \quad (7)$$

Формула (7) является основной для предлагаемого метода определения механических свойств горных пород, в частности для определения μ' , γ и E по устьевым информациям. Записывая на устье закон изменения давления и расхода во времени на основании интегрирования вычисляем функции $\varphi^*(t_0)$ и $f^*(t_0)$. Из формулы (7) видно, что зависимость между $\varphi^*(t_0)$ и $1/t_0$ выражается прямой линией. Воспользовавшись прямолинейной зависимостью $\Phi(t_0)$ и $1/t_0$ на основании формулы (7) определяется неизвестный коэффициент.

Для случая, когда стенки скважины состоят только из релаксирующей среды, формула (7) является общей и приводится к виду:

$$\Phi(t_0) = \left[\frac{\varphi'(t_0)}{f'(t_0)} \right]^2 \cdot \left(\frac{1}{f_0} + \frac{\alpha t_0}{r_0^2 R} \right) - \frac{\rho_0 f_0}{k_0} = \\ = \frac{2 \rho_0 r_0^2 f_0}{3}. \quad (8)$$

Из формулы (8) видно, что для релаксирующей среды зависимость $\varphi(t_0)$ и t_0 выражается прямой линией. Зная функции $\varphi(t_0)$ и $f(t_0)$, соответственно вычисляются $\varphi^*(t_0)$ и t_0 . Определяя угловой коэффициент этой прямой, на основании формулы (8) вычисляем коэффициент вязко-релаксирующей среды.

С целью реализации предлагаемого метода определения механических свойств горных пород в скв. 245 площади Мурадханлы на глубине 2800 м создавались различные нестационарные процессы в виде пуска и остановки насосов. Параметры бурового раствора были следующие: $\rho = 1800 \text{ кг/см}^3$; $\eta = 28 \text{ Па/с}$; $\tau_0 = 10.2 \text{ МПа}$.

При этом одновременно записывались изменения расхода и давления во времени на устье скважины с помощью пятиканального быстродействующего самописца Н320-5 с пятиканальным усилителем типа Ф301-5 с записью процессов на одну ленту.

Кривые $p(t)$ и $Q(t)$ были обработаны на ПК методом наименьших квадратов и были найдены аппроксимирующие кривые:

$$p(t) = A_1 t^2 + B_1 t - C_1 \\ Q(t) = A_2 t + B_2 t - C_2.$$

Значения постоянных коэффициентов, найденных на основании обработки, были следующими:

$$A_1 = 540 \text{ кг/с}^2 \text{ м}^2 \quad B_1 = 98000 \text{ кг/с} \text{ м}^2 \\ A_2 = 0.0012 \text{ м}^3/\text{с} \quad B_2 = 0.0350 \text{ м}^3/\text{с} \\ C_1 = 880000 \text{ кг/м}^2 \quad C_2 = 0.0500 \text{ кг/м}^2.$$

Значения постоянных коэффициентов, входящих в формулу (8), приняты следующими:

$$a = 0.03 \quad f_0 = 0.02 \text{ м}^2 \quad k_0 = 3.5 \cdot 10^{10} \text{ м/м}^2 \quad r_0 = 10 \text{ м}$$

На основании приведенных данных построена зависимость между $\Phi(t_0)$ и t_0 . Воспользовавшись угловым коэффициентом этой прямой, найдем значение коэффициента вязкости релаксирующей среды. Расчеты показали, что им является $\mu' = 28.81 \text{ Па} \cdot \text{с}$. Таким образом, решением обратных задач, по устьевым информациям, можно определить механические свойства горных пород в условиях скважин, что позволяет найти их время релаксации и предотвратить возможные осложнения, связанные с устойчивостью ствола скважины.

Заключение

1. Практический интерес представляет определение времени релаксации горных пород, слагающих стенки ствола скважины, при бурении геотермальных скважин.

2. В зависимости от времени релаксации

из-за потери устойчивости стенок скважин, необходимо обработать буровой раствор таким типом реагентов, которые увеличат содержание кальция в буровом растворе до значения

1000–1200 мг/л.

3. Если увеличение кальциевых ионов не помогает, тогда необходимо перекрыть открытый ствол скважины обсадными колоннами.

Список литературы

1. Байдож Б.В., Шрейнер Л.А. Расчет устойчивости горных пород в скважинах: сб. вопросов деформации и разрушения горных пород при бурении. – М.: ГОСИНТИ, 1971, 126 с.
2. Гасанов Г.Т., Махмудов Р.Н., Сафаров Я.И. Определение механических свойств горных пород на основе устьевых информации // Нефть и газ, 1974, № 2, с. 23-29.
3. Safarov Y.I., Ismayilov S.I. Mürəkəb şəraitdə neft və qaz quyularının qazılması texnologiyasının təkmilləşdirilməsi. – Bakı: SƏDA, 2001, 183 s.
4. www.dissertant 05.2010
5. www.ngnedra.ru

References

1. Baydyuk B.V., Shreyner L.A. Raschet ustoychivosti gornyx porod v skvazhinakh: sb. voprosov deformatsii i razrusheniya gornyx porod pri bureanii. – M.: GOSINTI, 1971, 126 s.
2. Gasanov G.T., Makhmudov R.N., Safarov Ya.I. Opredelenie mekhanicheskikh svoystv gornyx porod na osnove ust'veykh informatsiy // Neft' i gaz, 1974, No 2, s. 23-29.
3. Safarov Y.I., Ismayilov S.I. Murekəb şəraitdə neft və qaz quyularının qazılması texnologiyasının təkmilləşdirilməsi. – Bakı: SEDA, 2001, 183 s.
4. www.dissertant 05.2010
5. www.ngnedra.ru