

**АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ
ПРЕДЕЛЬНОЙ ГЛУБИНЫ СКВАЖИНЫ****Н. У. Алиев, д.х.н., М. А. Баймухаметов, к.т.н., Р. Ш. Ягудеев****Казахский национальный технический университет
им. К. И. Сатпаева**

Каверна түзілу құбылысы зерттелген. Ұңғыманың каверна түзіле бастайтын тереңдік шегі анықталған.

Түйінді сөздер: ұңғыма тереңдігі, каверна даму үрдісі, каверна түзілу.

Research on the phenomenon of formation of cavities was conducted. We got the maximum depth of a chink on which development process of cavities begins.

Key words: depth of a chink, development process of cavities, formation of cavities.

Под действием горного давления и давления бурового раствора в результате обменных процессов, происходящих на поверхности стенок, химического и термического взаимодействий ствол скважины может подвергаться различным необратимым деформациям: кавернообразованию, обвалам и осыпям, трещинообразованию, сужению ствола, образованию грифонов и т. д. В катастрофических случаях вследствие нарушения стенок скважины она может прекратить существование. Как правило, эти процессы развиваются тем интенсивнее, чем больше глубина скважины. Разумеется, многое зависит от свойств горных пород и промывочного раствора. Постоянный рост средней глубины разведочных и эксплуатационных скважин, планы строительства сверхглубоких и наклонно-направленных скважин делают особенно актуальной разработку теоретических аспектов проблемы устойчивости стенок глубоких скважин.

Важнейший фактор в таких условиях – горное давление от вышележащих пород. Поэтому определение предельной глубины является актуальной задачей.

Полученные ранее результаты позволяют дать следующую картину развития каверн из начальных скважин. В данной постановке задачи аналогом времени будет глубина скважины H – параметр нагружения. При заданных параметрах $\sigma_c, \eta, \delta, \nu, \rho g, \rho_n g$ процесс развития каверн определяется величиной H . Рассмотрим этот процесс.

Напряженное состояние на стенках «равнопрочной» скважины равно [1, 2]:

$$\sigma_n = -p; \sigma_t = -2\eta q + p; \sigma_z = -q, \quad (1)$$

где $(2\eta - \delta)q = \sigma_c + p(1 + \delta)$ при $2\eta q - p \geq q \geq p$;

$$(1 - 2\eta q)q = \sigma_c \text{ при } q \geq 2\eta q - p \geq p \quad (2)$$

Здесь через q обозначено невозмущенное вертикальное горное давление, а через ηq – невозмущенное боковое горное давление; коэффициент бокового распора η в зависимости от геотектонических условий может быть как меньше, так и больше единицы.

При этом напряженное состояние на стенке полости будет иметь вид [1, 2]:

$$\sigma_n = \sigma_t = -p; \sigma_z = -q + 2\nu(\eta q - p), \quad (3)$$

причем при $q(1 - 2\nu\eta) > p(1 - 2\nu)$

$$q(1 - 2\nu\eta) + 2p(\nu - \delta) = \sigma_c. \quad (4)$$

Поэтому возможны следующие 3 варианта разрушения:

вариант I $(2\eta - \delta)\rho g H - (1 + \delta)(\rho_n g H + p_a) = \sigma_c;$ (5)

вариант II $(1 - 2\eta\delta)\rho g H = \sigma_c;$ (6)

вариант II $(1 - 2\nu\eta)\rho g H + 2(\nu - \delta)(\rho_n g H + p_a) = \sigma_c$
 $(q = \rho g H, p = \rho_n g H + p_a).$ (7)

где p_a – добавочное давление бурового раствора.

Этим вариантам разрушения отвечают следующие значения глубины H :

$$H_I = \frac{\sigma_c + p_a(1 + \delta)}{\rho g(2\eta - \delta) - \rho_n g(1 + \delta)}; \quad (8)$$

$$H_{II} = \frac{\sigma_c}{\rho g(1 - 2\eta\delta)}; \quad (9)$$

$$H_{III} = \frac{\sigma_c - 2p_a(v - \delta)}{\rho g(1 - 2v\eta) + 2\rho_n g(v - \delta)}. \quad (10)$$

Физический смысл имеют лишь положительные значения H . Поэтому при отрицательном значении H_I , H_{II} или H_{III} соответствующий вариант разрушения не реализуется.

Образование каверны начинается с глубины $H=H^*$, равной

$$H^* = \min(H_I, H_{II}). \quad (11)$$

В процессе развития при $H=H^*$ каверна из начальной круговой формы проходит через множество непрерывно изменяемых и локально-неустойчивых равновесных форм. Скорость развития каверны на этом этапе определяется скоростью вымывания разрушенных частиц буровой жидкостью. В настоящей постановке задачи эту скорость можно считать бесконечно большой. При больших отклонениях от начальной круговой формы неустойчивые равновесные формы с бесконечными становятся нереальными вследствие наличия больших зон самопересечения. Естественно предположить, что конечным этапом развития каверны при $H=H^*$ будут локально-устойчивые равновесные формы с точками возврата. Очевидно, этот этап будет устойчивым и равновесным в целом, если $H_{III} > H^* = \min(H_I, H_{II})$. Причем система придет в одно из устойчивых состояний. В этом случае образовавшаяся каверна не будет развиваться до тех пор, пока увеличивающаяся глубина скважины не достигнет величины $H=H_{III}$. Дальнейшее увеличение глубины, большее H_{III} , невозможно, так как оно будет сопровождаться непрерывным и безграничным разрушением стенок каверны согласно

критерию (7). Таким образом, в рассматриваемом случае предельная глубина скважины $H=H^{**}$ будет равна H_{III} ; большая глубина бурения невозможна для рассматриваемой технологии.

Если $H_{III} < H^* = \min(H_I, H_{II})$, то развитие каверны при $H=H^{**}$ будет безостановочным, так как другие состояния согласно (7) будут неравновесными, закритическими. В этом случае предельная глубина скважины H^{**} будет равна H^* .

Таким образом, имеем следующий общий результат:

$$H^{**} = \max(H_{III}, H^*) = \max[H_{III}, \min(H_I, H_{II})]. \quad (12)$$

Пусть $\eta=1/2$; $\nu=1/3$; $\delta=1/2$; $\rho_a=0$. Тогда согласно (7)–(10) имеем:

$$H_I = \frac{2\sigma_c}{(\rho - 3\rho_n)g},$$

$$H_{II} = \frac{2\sigma_c}{\rho g},$$

$$H_{III} = \frac{3\sigma_c}{(2\rho - \rho_n)g}.$$

Как видно, вариант I разрушения может реализоваться лишь при $\rho > 3\rho_n$, а вариант III – лишь при $2\rho > \rho_n$. Отсюда по формулам (11) и (12) находим начальную глубину кавернообразования и предельную глубину бурения:

$$H^* = \frac{2\sigma_c}{\rho g}; \quad (13)$$

$$H^{**} = \frac{2\sigma_c}{\rho g} \quad \text{при } \rho > 2\rho_n \text{ и } \rho < 0,5\rho_n. \quad (14)$$

$$H^{**} = \frac{3\sigma_c}{(2\rho - \rho_n)g} \quad \text{при } 2\rho_n > \rho > 0,5\rho_n. \quad (15)$$

Анализ полученных формул (13) и (14) показывает, что глубина кавернообразования и предельная глубина бурения равны между собой $H^* = H^{**} = 2/3 y_c \cdot 10^2$ м при $c = 3000$ кг/м³, $c_n = 1500$ кг/м³, где y_c в МПа.

Отсюда для гранита предельная глубина бурения составит $H^{**}=20$ км при $\sigma_c=300$ МПа и для песка предельная глубина бурения соответственно $H^{**}=2$ м при $\sigma_c=0,03$ МПа.

Таким образом, на основании проведенного выше аналитического исследования подтверждается, что прочность породы играет основную роль при проектировании сверхглубоких скважин. Поэтому это необходимо также учитывать при разработке технологии наклонно-горизонтального бурения.

Литература

1. Черепанов Г. П. Механика хрупкого разрушения. – М.: Наука, 1974.
2. Черепанов Г. П., Ершов Л. В. Механика разрушения. – М.: Машиностроение, 1977.