

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА БОКОВОГО РАСПОРА ПОРИСТЫХ ГОРНЫХ ПОРОД ПО ПРОМЫСЛОВЫМ ДАННЫМ

Попов А.Н., Головкина Н.Н., Исмаков Р.А.

Уфимский государственный нефтяной технический университет

С использованием данных о коэффициенте бокового распора проводятся прочностные расчеты стенок скважины в связи с наиболее часто встречающимися осложнениями: открытием поглощения бурового раствора в результате гидроразрыва скважины при бурении и цементировании, осыпанием, деформированием и разрушением стенок. Горные породы даже в пределах одного пласта изменяют свои свойства в широких пределах, поэтому при расчетах следует использовать их статистические характеристики с заданной вероятностью. При определении этих характеристик принимают, что их значения распределены в пределах пласта по нормальному или логарифмически нормальному законам.

Вертикальная компонента p_r (геостатическое давление) на заданной глубине определяется по величине средневзвешенной плотности вышележащих горных пород, а горизонтальная компонента p_b (боковое давление) прямо пропорциональна геостатическому давлению [1]:

$$p_b = \lambda_y p_r, \quad (1)$$

где λ_y - коэффициент бокового распора упругой модели горной породы, который рассчитывается по формуле А.Н. Динника

$$\lambda_y = \mu / (1 - \mu), \quad (2)$$

где μ - модуль поперечной деформации (коэффициент Пуассона), определяемый при испытаниях кернов горной породы на одноосное сжатие.

Реальный коэффициент бокового распора может существенно отличаться от определяемого по формуле (2) и лежит в интервале

$$\lambda_y \leq \lambda \leq \lambda_\infty, \quad (3)$$

где λ_{∞} - предельное значение, к которому стремится λ в процессе релаксации естественных напряжений.

Нами предложено определение статистических характеристик коэффициента бокового распора пластов пористых горных пород с учетом величины их пористости и в условиях действия фактического пластового давления. Для этого не менее чем в трех скважинах необходимо определить пластовое давление, полную пористость в пределах толщины пласта и, с учетом ее фактического распределения, верхние значения пористости m_e с вероятностью 0,68. По величинам m_e для каждой скважины рассчитать параметр c , характеризующий долю площади по пути образования трещины гидроразрыва, занятую скелетом породы [2],

$$c = \exp(-19,1m_p^2), \quad (4)$$

где m_p – верхнее значение пористости в долях единицы, и далее в случае непроницаемой стенки скважины по формуле

$$\lambda_p = (p_{гр} - p_n(1 + c - 2c^2)) / (2c(p_{г} - p_n + cp_n)), \quad (5)$$

где $p_{гр}$ – давление гидроразрыва, p_n – пластовое давление, $p_{г}$ – геостатическое давление, а в случае проницаемой стенки по формуле

$$\lambda_p = (p_{гр}(2 - c) - 2p_n(1 - c^2)) / (2c(p_{г} - p_n + cp_n)) \quad (6)$$

Из формул (5) и (6) следует, что при известных $p_{г}$, p_n , $p_{гр}$ и c можно найти расчетные значения λ_p при каждом испытании скважины на гидроразрыв, а при наличии ряда испытаний – статистические характеристики: среднее арифметическое значение $\bar{\lambda}_p$ и среднее квадратическое отклонение s_p , которые связаны со статистическими характеристиками коэффициента бокового распора следующими зависимостями:

$$\bar{\lambda} = \bar{\lambda}_p / (1 - w); \quad (7)$$

$$s_{\lambda} = \bar{\lambda} w, \quad (8)$$

где λ и s_{λ} - среднее арифметическое значение и среднее квадратическое отклонение коэффициента бокового распора горной породы пласта; $\bar{\lambda}_p$ и w – среднее арифметическое значение и коэффициент вариации расчетной величины коэффициента бокового распора.

Величина давления в скважине, соответствующая условию $\sigma_{tc} = 0$, принята в качестве давления гидроразрыва $p_{гр}$, зависимость которого от $p_{г}$ и $p_{п}$ имеет вид

$$p_{гр} = A p_{г} + B p_{п}, \quad (9)$$

где A и B – коэффициенты пропорциональности.

Аналитические формулы для их расчета приведены в [2], на основании которых получены приведенные выше формулы (5) и (6).

Величины расчетных значений λ_p и m_p определены из следующей предпосылки. С увеличением коэффициента бокового распора давление гидроразрыва растет, а с увеличением общей пористости – снижается, т.е. трещина гидроразрыва должна зарождаться в интервале с наименьшим λ и с наибольшей m , но такое событие маловероятно. В бурении принят уровень α малых вероятностей равным 0,025. Этот уровень принят и для наихудшего сочетания расчетных значений λ_p и m_p . Тогда вероятность P каждой расчетной характеристики составит

$$P = 1 - 2\alpha^{0,5} = 1 - 2 \cdot 0,025^{0,5} = 0,684,$$

а соответствующий параметр нормального распределения $t \approx 1$. Величины λ_p определены из допущения о нормальном распределении в пределах пласта

$$\lambda_p = \bar{\lambda} - t s_{\lambda} = \bar{\lambda} - s_{\lambda}. \quad (10)$$

Распределение пористости в пределах пласта может быть нормальным и логарифмически нормальным. Проверка принятых допущений и расчетных формул проведена по опубликованным данным [3], которая показала, что предложен-

ный способ определения λ_p дает надежные результаты применительно к расчету давления гидроразрыва из условия его предупреждения.

Способ определения коэффициента бокового распора защищен патентом РФ [4]. Он позволит существенно уточнить расчеты стенок скважины. В частности, надежный расчет ожидаемого давления гидроразрыва слабых пластов скважины позволит своевременно принять меры профилактики по предупреждению открытия поглощения, а при заканчивании скважин позволит исключить опрессовку каждой скважины перед спуском эксплуатационной колонны и ее цементированием, что даст существенный экономический и экологический эффект.

Библиографический список

1. Спивак А.И., Попов А.Н. Разрушение горных пород при бурении скважин. - М.: Недра, 1994. - 261с.
2. Попов А.Н., Головкина Н.Н. Прочностные расчеты стенок скважины в пористых горных породах. Учебное пособие для студентов вузов. - Уфа: Изд-во УГНТУ, 2001. – 71 с.
3. Сельващук А.П., Бондаренко А.П., Ульянов М.Г. Прогнозирование градиента открытия поглощения при бурении скважин на месторождениях Восточной Украины.- М.: ВНИИЭгазпром, 1981. - № 5. – 33 с.
4. Патент РФ №2184232. Способ определения статистических характеристик коэффициента бокового распора пласта пористой горной породы. Попов А.Н., Головкина Н.Н., Исмаков Р.А., Попов М.А.