

УДК 622.02:531

Е.В. Рубцова, А.А. Скулкин

РАЗВИТИЕ МЕТОДИЧЕСКИХ ОСНОВ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ГИДРОРАЗРЫВА

Рассмотрена двумерная задача определения напряженно-деформированного состояния вокруг круглой выработки по данным направленного гидроразрыва, выполняемого в трех произвольно ориентированных скважинах.

Ключевые слова: сечение выработки, измерительная скважина, гидроразрыв, главные напряжения, система уравнений.

Классическая схема определения напряжений по данным гидроразрыва строится на предположении, что ось скважины ориентирована в направлении одного из главных напряжений исходного поля (обычно за главное принимают вертикальное направление) [1]. По величине давлений разрыва пород при первом нагружении, запираения и раскрытия трещины при повторных нагружениях определяют наименьшую и наибольшую компоненты главных напряжений в плоскости, ортогональной оси скважины. Очевидно, что по измерениям в одной скважине не возможно определить все компоненты исходного поля напряжений.

В [2] получены выражения для определения компонент действующих в массиве напряжений по результатам измерительного гидроразрыва в разноориентированных скважинах. Выбор расчетных формул зависит от соотношения вертикальной и горизонтальных составляющих поля напряжений, т.е. необходимо предварительно выполнять серию опытов вне зоны влияния выработки с целью определения величины и ориентации двух главных напряжений, что трудоемко и требует дополнительной оценки достоверности полученных данных. Кроме этого вертикальная составляющая поля напряжений может не являться главной и, как следствие, описанная расчетная схема метода становится неприемлемой.

В связи с вышеизложенным практический интерес представляет возможность расчета компонент действующих в массиве напряжений по данным направленного гидроразрыва, выполненного в произвольно ориентированных измерительных скважинах.

Постановка задачи

При определении напряженного состояния пород вокруг выработок объемная задача может быть сведена к плоской, то есть к рассмотрению распределения напряжений лишь вокруг поперечного сечения выработки, поскольку один из размеров — длина выработки, значительно больше двух других [3]. Будем рассматривать выработку круглой формы, которая широко распространена для вертикальных стволов, кроме того, во многих случа-

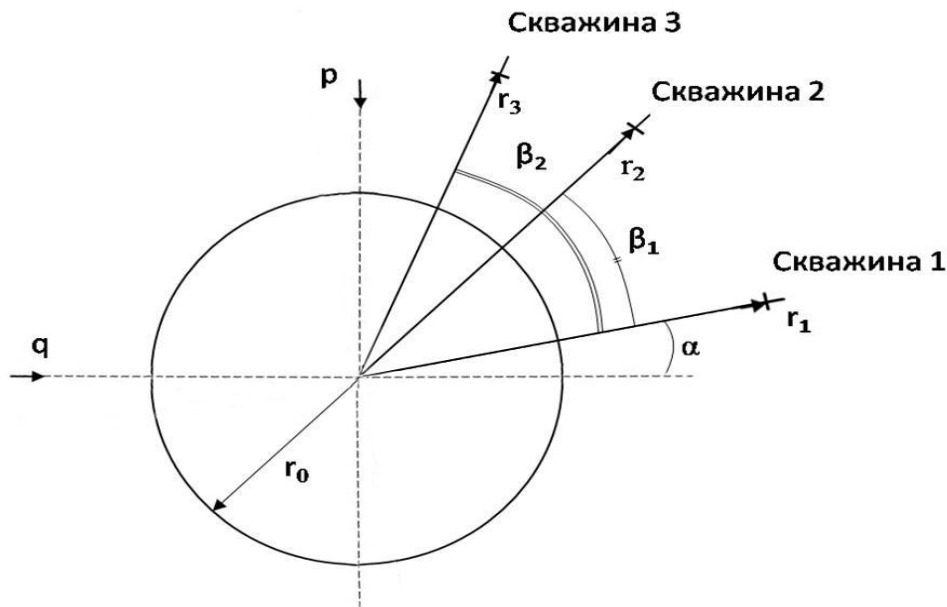


Рис. 1. Схема измерительного гидроразрыва с тремя произвольно ориентированными скважинами

ях, практически достаточно знать приближенную картину распределения напряжений и тогда вместо реального сечения выработки можно рассматривать окружность.

На рис. 1 приведена схема измерительного гидроразрыва, в которой из горной выработки круглого сечения радиусом r_0 проведены три скважины. Ориентация векторов главных напряжений p и q неизвестна. Пусть первая скважина составляет с одним из главных напряжений некоторый, заранее неизвестный, угол α . Углы β_1 и β_2 между скважинами известны. Расстояние от центра выработки до места проведения гидроразрыва и величины давлений, определяемые методом измерительного гидроразрыва, обозначены, соответственно, r_1 , r_2 , r_3 и P_1 , P_2 , P_3 .

Необходимо определить величину главных напряжений p и q , а также их ориентацию, определяемую углом α , по данным трех измерительных скважин с учетом следующих допущений:

- форма выработки остается симметричной;
- направление гидроразрыва перпендикулярно оси скважины;
- среда является однородной.

Метод расчета напряжений

Распределение напряжений вокруг круглой выработки в неравнокомпонентном поле внешних напряжений имеет вид [4]:

$$\sigma_{rr} = \frac{p+q}{2} \left(1 - \frac{r_0^2}{r_i^2} \right) + \frac{p-q}{2} \left(1 - 4 \frac{r_0^2}{r_i^2} + 3 \frac{r_0^4}{r_i^4} \right) \cos 2\theta_i, \quad (1)$$

где σ_{rr} — компонента напряжения на окружности радиуса r_i , θ_i — угол между направлением одного из векторов главных напряжений и радиусом r_i . Подставим в (1) данные по каждой скважине:

$$\begin{cases} P_1 = Aa_1 + Bb_1 \cos 2\alpha \\ P_2 = Aa_2 + Bb_2 \cos(2\beta_1 + 2\alpha) \\ P_3 = Aa_3 + Bb_3 \cos(2\beta_2 + 2\alpha) \end{cases} \quad (2)$$

где $A = \frac{p+q}{2}$, $B = \frac{p-q}{2}$, $a_i = 1 - \frac{r_0^2}{r_i^2}$, $b_i = 1 - 4 \frac{r_0^2}{r_i^2} + 3 \frac{r_0^4}{r_i^4}$, $i = 1, 2, 3$.

Решение системы (2) имеет вид:

$$A = \frac{P_1 - g_1 b_1}{a_1}, \quad B = \sqrt{g_1^2 + g_2^2}, \quad \cos 2\alpha = \frac{g_1}{B} \quad (3)$$

где $g_1 = \frac{c_2 a_1 - P_1 c_1}{c_3 a_1 - b_1 c_1}$,

$$c_1 = a_2 b_3 \sin 2\beta_2 - a_3 b_2 \sin 2\beta_1,$$

$$c_2 = P_2 b_3 \sin 2\beta_2 - P_3 b_2 \sin 2\beta_1,$$

$$c_3 = b_3 b_2 \sin(2\beta_2 - 2\beta_1),$$

$$g_2 = \frac{g_1 b_2 \cos 2\beta_1 - c_4}{b_2 \sin 2\beta_1}$$

$$c_4 = P_2 - A a_2.$$

Искомые величины главных напряжений и угол между скважиной 1 и вектором главного напряжения q определяем из выражений:

$$q = A - B, \quad p = A + B, \quad \alpha = \frac{1}{2} \arccos \frac{g_1}{B}.$$

Полученные выражения позволяют по данным измерительного гидро-разрыва в трех произвольно ориентированных скважинах определять величину и ориентацию главных напряжений. Выполнены тестовые расчеты для оценки погрешности определения величины главных напряжений и угла α в зависимости от точности проведения скважин под заданными уг-

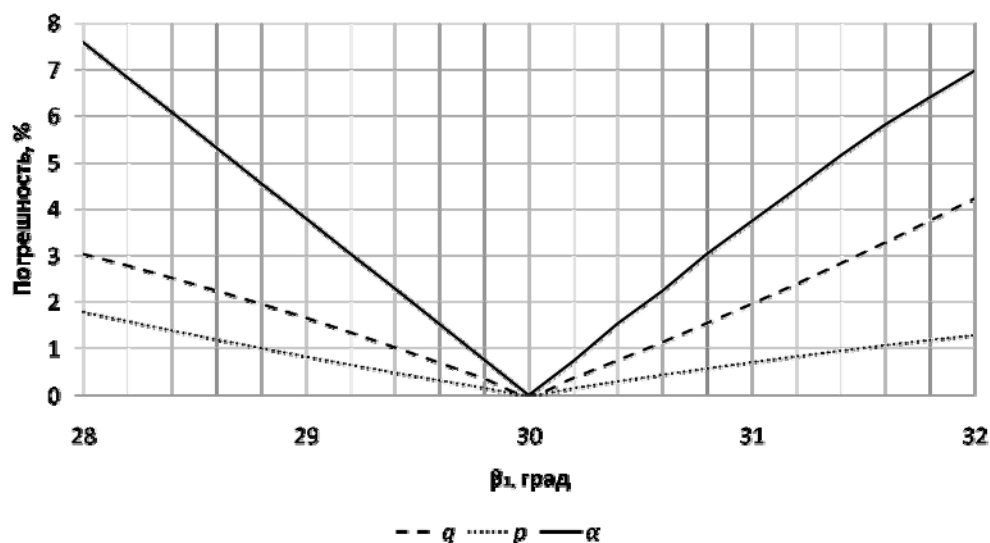


Рис. 2. Погрешность определения главных напряжений при отклонениях угла β_1

лами β_1 и β_2 . На рис. 2, в качестве примера, приведены значения погрешности при отклонениях угла β_1 между скважинами 1 и 2 (расчет проведен при $\beta_1 = 30^\circ$, $\beta_2 = 120^\circ$). Анализ расчетов показывает, что погрешность определения угла α не превышает 5 % при отклонениях угла β_1 в пределах $1,2^\circ$, при этом погрешность определения величин p и q не превышает 3 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Курленя М.В., Леонтьев А.В., Попов С.Н. Развитие метода гидроразрыва для исследования напряженного состояния массива горных пород // ФТПРПИ. — 1994. — № 1.
2. Леонтьев А.В., Попов С.Н. Опыт практического применения измерительного гидроразрыва // Горный журнал. — 2003. — № 3.
3. Дементьев А.Д., Назаров Л.А., Назарова Л.А. Прикладные задачи теории упругости // Новосибирск. — Изд.: НГАУ. — 2002. — 224 с.
4. Тимошенко С.П., Гудьер Дж. Теория упругости // Москва: «Наука». — 1975. — 576 с. **ИДБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Рубцова Екатерина Владимировна — кандидат технических наук, rubth@misd.nsc.ru, Институт горного дела Сибирского отделения РАН,
Скулкин Александр Александрович — магистрант НГУ, chuptt@yandex.ru,

