© Е.В. Рубцова, 2007

УДК 622.02:531 + 622.83

Е.В. Рубцова

РЕЗУЛЬТАТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЙ В МАССИВЕ ГОРНЫХ ПОРОД МЕТОДОМ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ГИДРОРАЗРЫВА В УСЛОВИЯХ ТАШТАГОЛЬСКОГО РУДНИКА

Семинар № 3

К настоящему времени в подземных выработках Таштагольского железорудного месторождения методом измерительного гидроразрыва выполнено несколько циклов экспериментальных исследований. В разное время эти работы преследовали разные цели. Настоящие эксперименты проводились с целью определения напряжений в окрестности капитальных выработок.

Техника гидроразрыва пород состоит в том, что участок скважины протяженностью в 4÷5 её диаметров перекрывается с помощью двухпакерного зонда и подвергается нагружению путем нагнетания флюида в межпакерное пространство; при дос-тижении критических растягивающих напряжений на стенке скважины происходит разрыв пород [1]. Основой измерительного гидроразрыва является то, что критические давления зависят не только от прочности пород, но и от уровня действующих в них напряжений. При этом управление режимом нагнетания, а также возможность проведения повторных нагружений выбранного участка скважины позволяют выделить на диаграммах «давление-время» характерные значения, которые затем интерпретируются в терминах напряжений, действующих в породном массиве. К таким значениям относятся: P_c – давление разрыва пород при первом нагружении; P_r – давление раскрытия трещины при повторных нагружениях; P_s – давление запирания, соответствующее моменту равновесного состояния открытой трещины разрыва, когда давление флюида уравновешивает воздействие нормальных к плоскости трещины напряжений в породном массиве. Поскольку давление и напряжение имеют одну размерность, для оценки исходных напряжений нет необходимости знать фактические значения деформационных параметров пород, что выгодно отличает метод гидроразрыва от большинства механических способов измерения напряжений.

Классическая схема определения напряжений по данным гидроразрыва строится на следующих основных предпосылках:

– массив представлен крепкими скальными породами, поведение которых в окрестности скважины описывается упругими соотношениями;

– ось скважины ориентирована в направлении одного из главных напряжений исходного поля;

– нагружение осуществляется с достаточно высокой скоростью, что позволяет пренебречь фильтрационными потерями и поровым давлением;

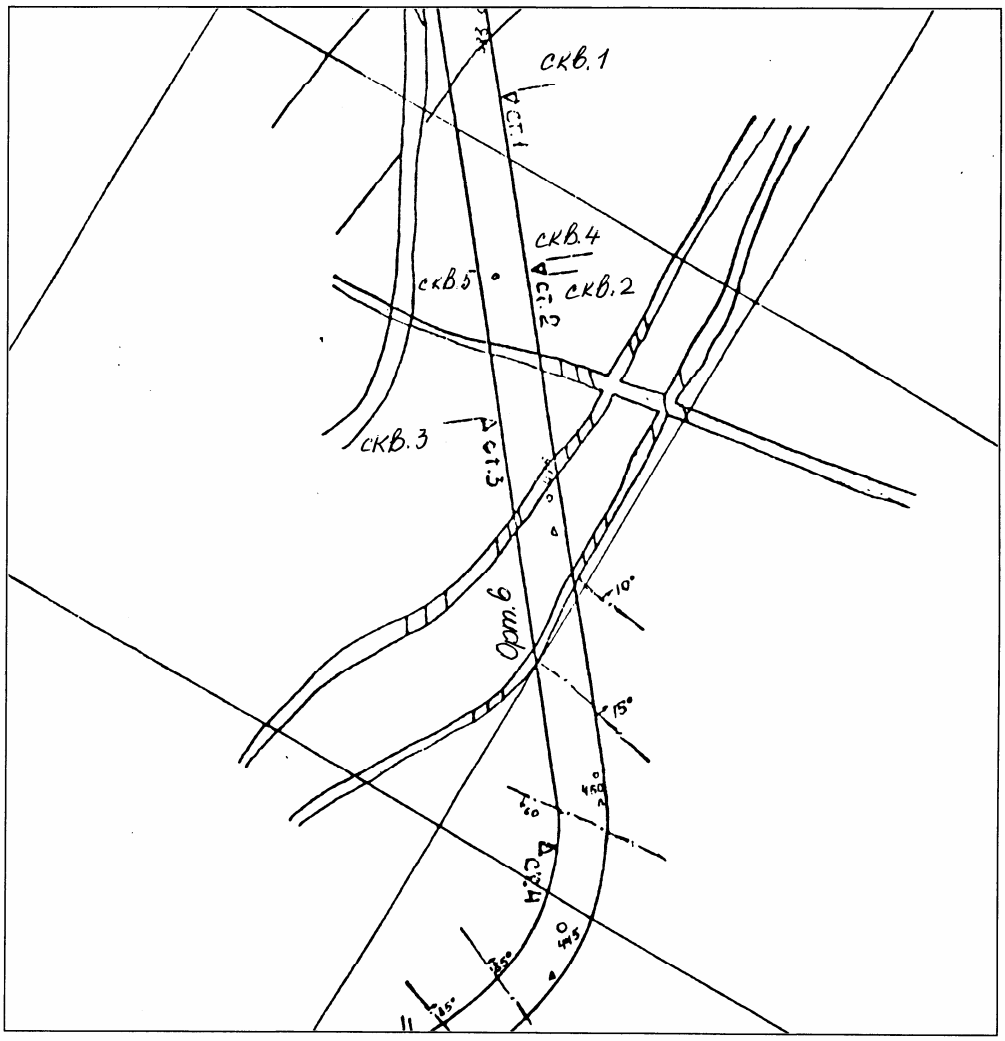


Рис. 1. Схема расположения измерительных скважин в орте № 6 горизонта -140 м

– разрушение инициируется на стенке скважины по площадке с наибольшим растягивающим тангенциальным напряжением;

– давление запирания соответствует наименьшей компоненте главных напряжений, перпендикулярной плоскости разрыва.

В сделанных предположениях пересчет характерных давлений гидроразрыва в напряжения осуществляется, исходя из соотношений:

$P_c = 3\sigma_{min} - \sigma_{max} + T$,

$P_r = 3\sigma_{min} - \sigma_{max}$, $P_s = \sigma_{min}$, где σ_{min}, σ_{max} – наименьшая и наибольшая компоненты главных напряжений в плоскости, ортогональной оси скважины; $T = P_c - P_r$ – прочность пород на отрыв. Отсюда искомые оценки напряжений определяются как: $\sigma_{min} = P_s$,

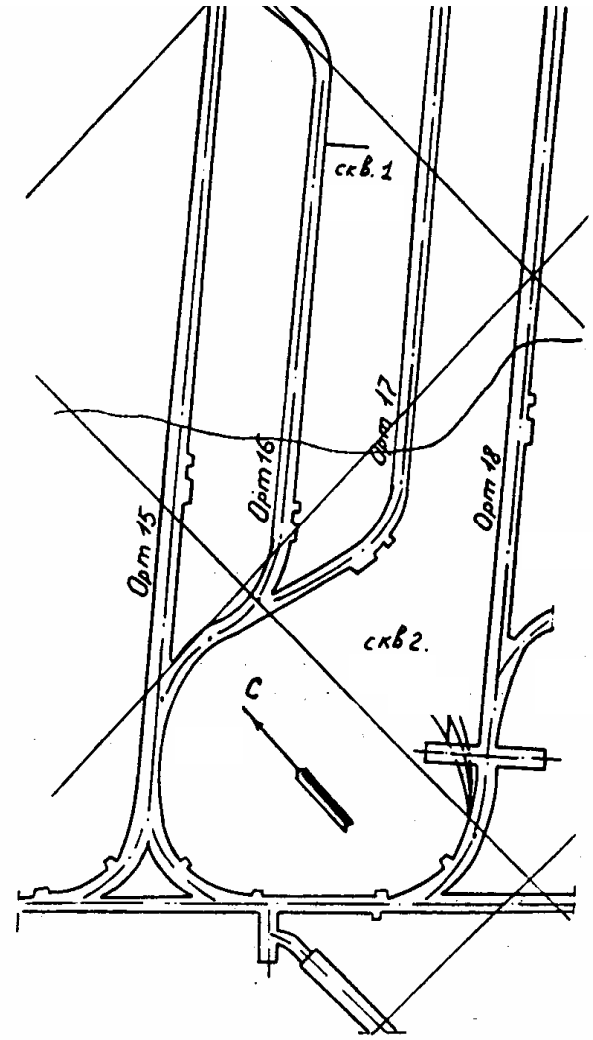


Рис. 2. Выкопировка с плана горных работ горизонта -280 м с указанием мест расположения измерительных скважин

нительный трубопровод, систему регистрации давления, состоящую из прессметра и датчика давления.

Данный состав оборудования является переносным и предназначен для применения в подземных условиях. В наземных условиях, при обработке экспериментальных данных, прессметр подключается к персональному компьютеру, оснащенному программой обработки и визуализации экспериментальных данных.

Измерения проводились на горизонтах -140 м, -210 м, -280 м. Район измерений в орте № 6 горизонта -140 м, расположенном в охранном целике обогатительной фабрики, отделен от действующих очистных блоков рудным целиком шириной около 100 м. Глубина горных работ от поверхности в этом месте составляет 620 м. Измерительные станции были заложены в руде, скважины 1–4 проведены горизонтально, скважина 5 – вертикально вверх; глубина скважин 5.0÷7.0 м (рис. 1).

$\sigma_{max} = 3P_s - P_r$. Нетрудно видеть, что по измерениям в одной скважине не удается определить все компоненты исходного поля напряжений, поэтому, как правило, эксперименты производят в разно ориентированных скважинах.

При проведении настоящих экспериментов использовался разработанный в ИГД СО РАН комплекс «Гидроразрыв», включающий: двухпакерный зонд, гидронасос (ручной), манометр, соеди-

Руда в области скважин магнетитовая, с мелкими гнездами белого кварцкарбоната; отмечаются полого-падающие на восток зоны трещиноватости, заполненные кальцитом со следами тектонических подвижек. Анализ полученных данных (см. таблицу), позволяет отметить следующее. Все измерения выпол-

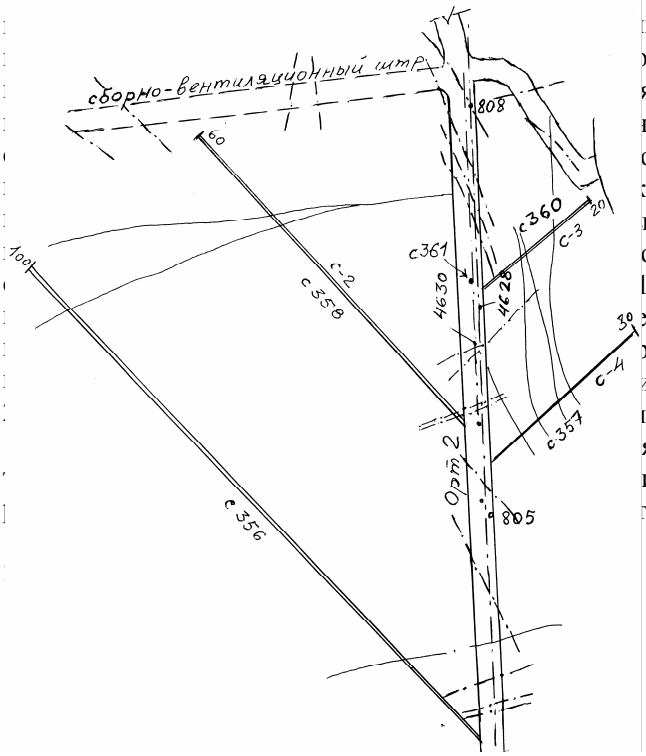
нены в зоне влияния выработки. Причем, судя по низкой

Рис. 3. Схема расположения скважин в орте №2 горизонта - 210 м

тельная скважина была пробурена в рудном массиве нормально к борту орта № 16 на расстоянии 30 м от восточного кольцевого штрека,

вторая – в орте № 18 из ниши в северо-западном борту орта. По выбуренному керну установлено, что монолитный участок массива находится на глубине от 5 до 9 м. Результаты определения напряжений представлены в таблице и позволяют отметить следующее. В скважине 1 компоненты действующих напряжений одинаковы на глубинах 7 и 8 м. Кроме того, их соотно-шение свидетельствует о присутствии тектонической составляющей, действующей в северо-восточном направлении. Данные по скважине в орте № 18 свидетельствуют об отсутствии собственно гидроразрыва на глубинах 8 и 9 м и скорее о и существующей трещины. ого, они показывают, что юго- я компонента горизонтальных ний не несет признаков текто- о сжатия.

а напряжений на горизонте - ла произведена в орте № 2, в от 805 точки в скважинах №№ 1 (рис. 3). Глубина орта от земерхности 653 м. Скважина № оризонтальная на восток под уг- и орта. Обследование керна поедующее. В интервале 0–7.3 м я скарн мелкосреднезернистый, идно-пятнистой текстуры, по- -хло-рит- эпидотовый с релик-



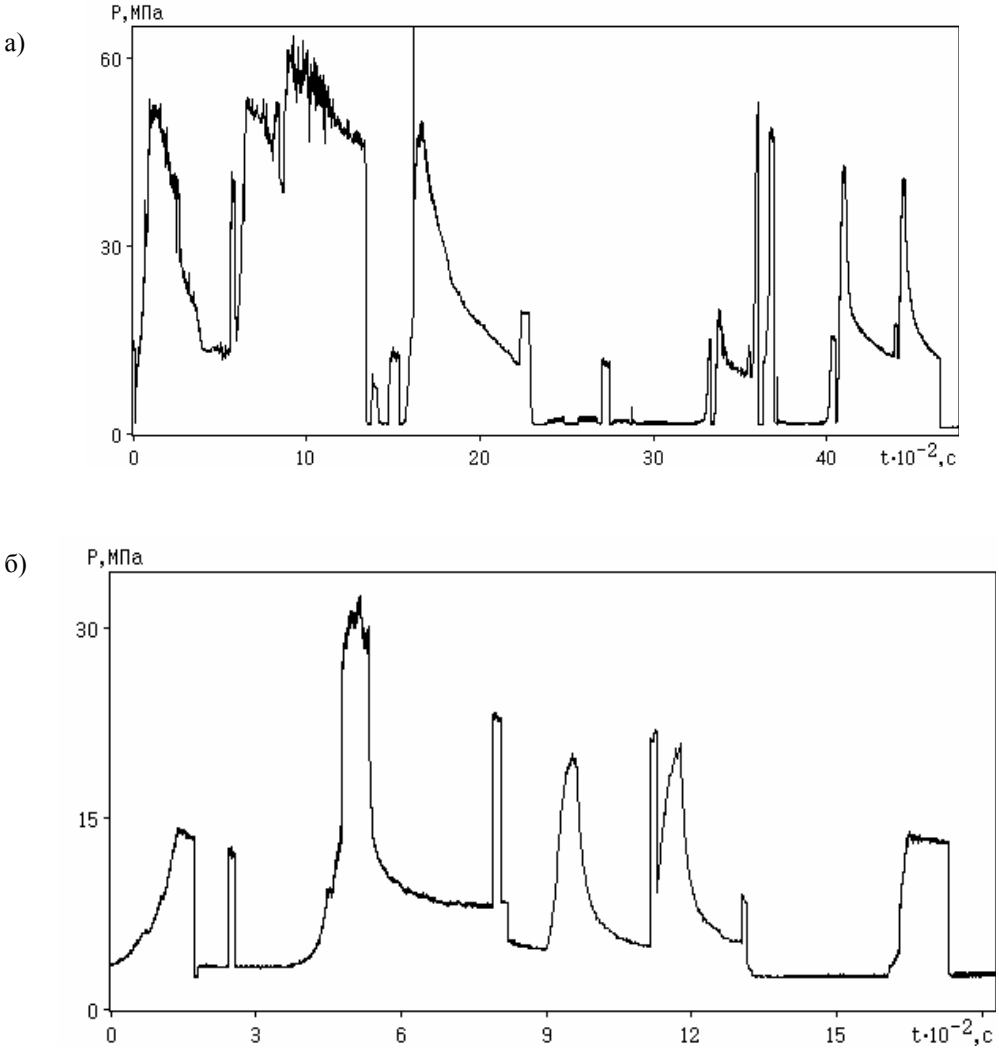


Рис. 4. Экспериментальные диаграммы «давление-время», полученные в скважинах № 360 (а) и №361 (б) на горизонте -210 м

тами сиенитов. В интервале 7.3–7.8 м сиенит с пятнами эпидота. В интервале 7.8–10.0 м скарн, аналогичный описанному в интервале 0–7.3 м. В интервале 10.0–13.3 м скарн гранито-эпидотовый. В интервале 13.3–14.5 м руда магнетитовая, брекчиевидно-пятнистая с гнездами и прожилками кальцита и хлорита. Выход керна до глубины 13 м – 100 %.

Скважина № 361 выполнена в этом же месте вниз, наклонно под углом 50° на северо-восток. Геологическая характеристика в области скважины: руда магнетитовая, блестящая и полублестящая с незначительной примесью кальцита в виде прожилков и гнезд. В интервале 11.4–11.8 м наблюдается зона дискования (h_{min}–0.4 см). С глубины 13 м скарн по полевошпатовой породе. Кон-

такт с рудой отчетливый под углом 40º к длинной оси керна.

В качестве примера, на рис. 4 приведены диаграммы «давление-время», полученные в процессе экспериментов в скважинах № 360 и №361 орта №2. В обработанном виде данные экспериментов по горизонту -210 м представлены в таблице. Их анализ позволяет отметить, что все измерения выполнены в массиве, очевидно, нарушенном при проходке орта, и поэтому в большинстве случаев гидроразрыва не наблюдается, а происходит раскрытие существующих трещин. В борту орта на глубине 6–11 м уровень напряжений достаточно высок (43,7–77,7) МПа, что свидетельствует о наличии зоны их концентрации. Измерения в вертикальной скважине показали присутствие одной из компонент горизонтальных напряжений (33,5 МПа) существенно превышающей значение гравитационной составляющей (17,3 МПа).

Обобщая полученные результаты, отметим следующее:

1. Все измерения произведены в областях концентрации напряжений, вызванных главным образом, очистными работами на вышележаших горизонтах.

2. Распределение средних напряжений по глубине скважин существенно неравномерно даже за зоной влияния ортов (на удалении более 3 м от контура выработки при площади сечения ортов около 7 м^2). По-видимому, на величину напряжений существенное влияние оказывает раздробленность массива.

3. В целом, более нагруженным представляется массив на горизонте -210 м. Можно отметить рост $\sigma_{\min}$ с глубиной (19.0–21.6 МПа на гор. -140 м и 23.0–26.0 МПа на гор. -280 м), а также повышение этой компоненты (24.4–46.0 МПа на гор. -210 м) за счет высоких горизонтальных напряжений.

4. Поскольку по объективным причинам количество экспериментов было ограничено, полученные сведения о напряжениях являются сегодня лишь опорными для последующих наблюдений.

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.

Коротко об авторах

Рубцова Екатерина Владимировна – кандидат технических наук, научный сотрудник лаборатории горной информатики ИГД СО РАН