

УДК 622.831:551.3

Н.Ю. Швагер, Т.А. Комиссаренко, А.А. Комиссаренко, Ю.О. Швагер
ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ
ПОРОД ОКРУЖАЮЩИХ ОБРАЗОВАННУЮ ПОЛОСТЬ

Рассмотрены вопросы напряженного состояния пород вокруг полостей. Приведены результаты моделирования напряженного состояния массива вокруг горизонтальной компенсационной камеры.

Ключевые слова: горные породы, горный массив, напряжение, депрессионная воронка, подземные воды, вскрышные породы.

Постановка проблемы. Освоение недр и масштабная разработка месторождений полезных ископаемых сопряжены с мощным техногенным воздействием на земную кору. Длительные сроки эксплуатации месторождений, большие объемы перемещаемых горных масс, концентрация добычи на ограниченных территориях, все это способствует нарушению первоначального напряженно-деформированного состояния земной коры на обширных территориях.

Техногенные нагрузки на участок земной коры в области влияния добычи полезных ископаемых весьма разнообразны. Их можно подразделить на два вида: уравновешенные силы, присущие непосредственной области ведения добычи, и неуравновешенные силы, связанные с нарушением равновесия за счет перемещения масс. Уравновешенные силы формируются на контурах горных выработок — карьеров, зон обрушения, выработанных пространств, областей активной фильтрации и дегазации. В соответствии с принципом Сен-Венана, их влияние ограничивается локальными областями, в 2—3 раза превышающими образуемые зоны техногенного нарушения равновесия. Неуравновешен-

ные силы образуются весом перемещаемых породных масс — добытого полезного ископаемого, вскрышных пород, отходов обогащения, а также изменением гидрогеологического режима — откачкой подземных вод и образованием депрессионных воронок, затоплением.

Напряженное состояние массива горных пород является важнейшим фактором, определяющим их поведение под нагрузкой, и проявления горного давления. Существовавшее в нетронутом массиве поле напряжений при образовании полости изменяется. Общие закономерности этого изменения заключаются в концентрации напряжений в одних местах и в ослаблении в других.

Известно, что в массиве горных пород при образовании полости происходят локальные изменения исходного поля напряжений. При этом образуются три зоны действия статических напряжений, а именно:

- непосредственно у обнажения образуется свободная от сжимающих напряжений зона разгрузки;
- за зоной разгрузки, вглубь массива, располагается зона повышенных сжимающих напряжений (зона опорного давления);
- в глубине массива, где заканчиваются локальные изменения напря-

женного состояния, находится зона нетронутого массива горных пород.

Образование полости и связанное с ней перераспределение исходного поля напряжений существенно изменяют прочностные характеристики пород. В зоне опорного давления под воздействием всесторонних сжимающих напряжений происходит упрочнение пород, а в зоне разгрузки — их разупрочнение.

Распределение напряжений вокруг полости и их абсолютная величина зависят от ее формы и размеров. Растягивающие напряжения у кровли плоскости возрастают с увеличением ее пролета, кроме того, напряженное состояние массива вокруг прямоугольной полости зависит от ее ориентации, а так же от соотношения ее сторон.

Напряженное состояние пород вокруг полостей изменяется пропорционально глубине горных работ. На глубинах более 300-400м напряжения составляют 0,3—0,4 от веса толщи обрушенных пород [1]. Установлено, что на указанных глубинах изменяется напряженно-деформированное состояние массива в зоне влияния очистной выемки. Необходимо отметить, что в настоящее время исследование напряженного состояния массива моделированием на различных материалах производится на высоком уровне. Поле напряжений в среде вокруг полости известно, но в нашем случае эти исследования необходимы для того, чтобы можно было сравнить поле напряжений с полем плотностей среды, изучаемых теневым методом.

Для изучения напряжений использован метод фотоупругости, который позволяет решать подобные задачи наиболее просто на плоских моделях. Исследования [2] показали, что при замене объемной модели на плоскую напряжение увеличивается на 30 %, в

случае отношения большего размера камеры к ее длине, равном 3:1. если указанное отношение равно 5:1, погрешность составляет 10—15 %.

Для получения надежных результатов моделирования соблюдалось геометрическое и силовое подобия. Модели нагружались в центрифуге в режиме замораживания напряжений. Центробежное нагружение моделей позволяет наиболее точно воспроизводить в модели напряжения, вызванные силами собственного веса горных пород.

Модель представляла собой прямоугольную пластину материала СД-10, имеющую размеры 144x138x11 мм. Исследования проводились по методике [2, 3]. Изучалось распределение напряжений вдоль осей симметрии камеры и по контуру. Напряженное состояние горизонтальной компенсационной камеры (рис. 1) характеризуется сжимающими напряжениями σ_2 в стенах — 0,45МПа и растягивающими σ_1 — в кровле и почве 0,15 МПа.

С удалением от контура камеры вглубь массива нормальные тангенциальные напряжения σ_2 уменьшаются и на расстоянии, равном ширине камеры, близки к величине напряжения ненарушенного массива.

Действующие в кровле и почве растягивающие напряжения с удалением от контура уменьшаются и на расстоянии соответственно 0,22 и 0,14 ширины камеры переходят в сжимающие. Область действия растягивающих напряжений по контуру составляет 75 % ширины кровли и почвы камеры (рис.1, в).

Известно, что действующие в массиве напряжения и соответствующие им деформации вызывают появление оптических неоднородностей.

Теневые методы визуализации неоднородностей в прозрачных средах

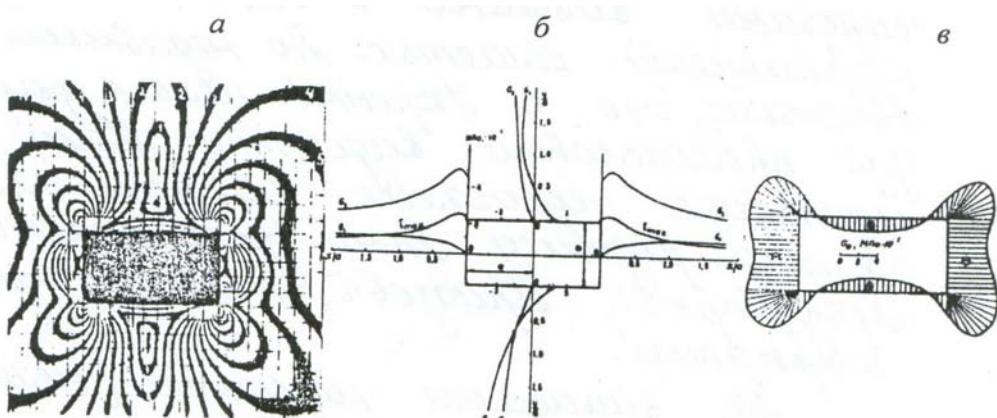


Рис. 1. Напряженное состояние массива вокруг горизонтальной компенсационной камеры: а — картина полос; б — графики напряжений σ_1 , σ_2 , τ_{\max} по осям симметрии камеры; в — нормальные тангенциальные напряжения σ_0 по контуру камеры

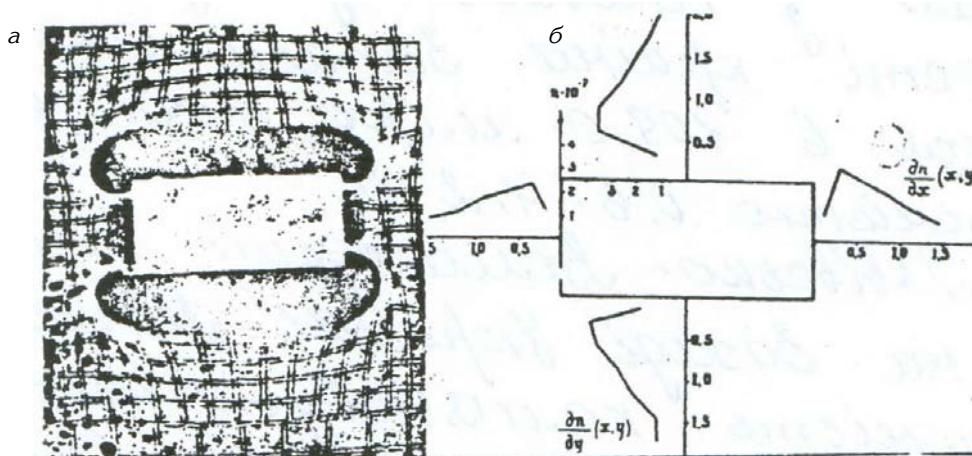


Рис. 2. Изменение плотностными материалами модели вокруг горизонтальной и вертикальной отрезных щелей: а — теневая картина, б — графики изменения плотности материала

основаны на изменениях величины показателя преломления, вызывающих отклонение световых лучей, проходящих через различные точки среды. Изменения показателя преломления возникают вследствие того, что плотность одного и того же вещества изменяется из-за непостоянства давления в среде. Теневыми методами можно проводить как качественные, так и количественные исследования. С их помощью можно определить

форму фронта световой волны, прошедшей через исследуемый объект, что позволяет судить о распределении показателя преломления внутри нероднородности.

Исследования проводились на моделях размерами 144x138x11 мм из материала СД-10. нагружение моделей проводилось в центрифуге с последующим замораживанием. На поверхности модели была нанесена координатная сетка 3x3 мм. Картина распределения зон

растягивающих и сжимающих нагрузок была получена прямым теневым методом. Для получения количественных данных был применен метод расфокусированных диафрагм. На снимке фиксировалось смещение теней штрихов сетки, нанесенной на модели, от первоначального положения.

Расчеты упрощались тем, что в выбранных направлениях (по осям симметрии выработок) лучи отклонялись только по одной из координат [4]. Модель фотографировалась теневым методом. На снимке определялось смещение тени штриха и по методике приведенной в работе [4] определялся градиент плотности. Для горизонтальной компенсационной камеры (рис. 2, а) характерно образование значительных зон растягивающих нагрузок в кровле и почве. Значение градиента плотности резко возрастает по мере удаление от контура камеры и принимает максимальное значение на расстоянии 0,2 ширины камеры от кровли и 0,15 от почвы, после чего плавно уменьшается и на расстояниях, примерно равных ширине камеры, принимает величину, близкую к величине плотности ненарушенного массива.

Сравнивая данные, полученные методом фотоупругости и теневым, можно сделать вывод, что величина градиента плотности достигает максимума в зоне, где растягивающие напряжения переходят в сжимающие. Согласно исследованиям проф. С.Г. Борисенко [4] высота свода естественного равновесия определяется путем построения поверхности сдвижения. Известно, что площадки сдвижения горных пород с направлением главного нормального напряжения составляют угол, величина которого определяется из выражения, град

$$\theta = 45 - \alpha / 2,$$

где α — угол внутреннего трения, град.

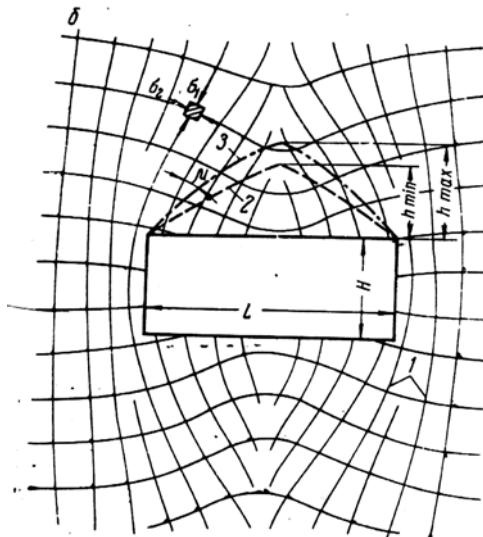


Рис. 3. Построение по изостатам поверхности сдвижения при отношении ширины подсечки к ее высоте 2,2:1 (по С.Г. Борисенко)

Для построения поверхности сдвижения необходимо иметь картину изостат, т.е. знать направления, в которых действуют главные нормальные напряжения. Картину изостат можно получить в результате моделирования с применением метода фотоупругости или с помощью математической теории упругости. Имея картину изостат и зная величину угла α , графически строится линия сдвижения (рис. 3).

Путем построения линии сдвижения при соотношении пролета очистного пространства к его высоте, равного 3:1 и когда пролет равен высоте по изостатам, полученным акад. А.Н. Динником [5] при угле внутреннего трения $\alpha=40^\circ$ получены значения высоты свода естественного равновесия h_{cb} .

В результате математической обработки полученных значений от пролета очистного пространства l зависимость $h_{cb}=f(l)$ с достаточной точностью описывается выражением

$$h_{cb} = l_n / 2 \operatorname{tg} \alpha, \text{ м.}$$

Глубина зоны разгрузки у вертикального обнажения определяется из выражения

$$h_{cb.b} = \frac{l_n \sqrt{\mu/1-\mu}}{2 \operatorname{tg} \alpha},$$

где μ — коэффициент Пуассона.

Согласно полученных выражений глубина зоны разгрузки у обнажения, а следовательно и высота свода естественного равновесия зависит от пролета обнажения, угла внутреннего трения и коэффициента Пуассона. Угол внутреннего трения пород Криворожского бассейна изменяется от 17^0 до $48^0 20'$, при этом для мартитовых руд пределы изменения угла α составляют 17^0 — $48^0 20'$.

По данным Криворожской геологической экспедиции величина коэффициента Пуассона изменяется от 0,15 до 0,27. среднее значение μ для руд и пород Кривбасса равно 0,213. результаты исследований свидетельствуют, что породы окружающие полость находятся в неравновесном состоянии. Неравновесность макроскопической системы обусловлена тем, что некоторый физический параметр изменяется от точки к точке. Признаки неравновесности могут быть различными. В данном случае неравновесность обусловлена тем, что одна часть макроскопической системы находится под действием сжимающих напряжений, а другая — растягивающих. С каждым видом неравновесности связана избыточная энергия, которая должна выделиться для того, чтобы система вернулась в равновесное состояние (принцип Ле Шателье — Брауна). Выделение избыточной энергии происходит при разрыхлении пород в пределах зоны разгрузки находящейся под действием растягивающих напряжений. Поэтому приданье

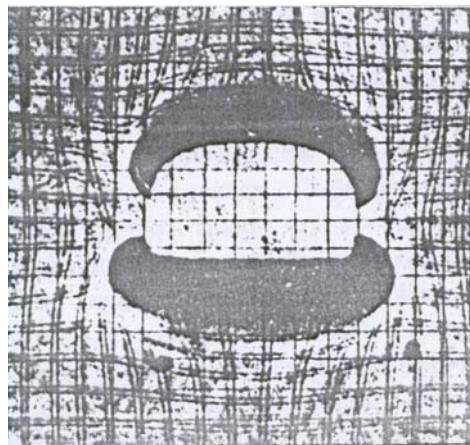


Рис. 4. Теневая картина деформации пород вокруг полости сводчатой формы

обнаженной поверхности формы близкой к форме зоны разгрузки (рис. 4) позволит существенно повысить устойчивость образованной полости, что и реализовано в работах В. В. Цариковского.

Выводы

Комплексные исследования напряженно-деформированного состояния пород вокруг образованной полости с применением поляризационно — оптического и теневого методов позволяет увеличить объем информации о их состоянии.

Величина зоны разгрузки и высоты свода естественного равновесия зависит от пролета обнажения, угла внутреннего трения и коэффициента Пуассона.

В результате сравнения данных полученных методами фотоупругости и теневым, можно утверждать, что величина градиента плотности достигает максимума в зоне, где растягивающие напряжения переходят в сжимающие.

Приданье обнаженной поверхности формы близкой к форме зоны разгрузки позволяет существенно повысить устойчивость образованной полости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Борисенко С.Г., Кольский Е.И., Тубольцев В.М. Исследование напряжений в блоках при разработке рудных месторождений // Труды V Всесоюзной конференции 23–27 июня 1964. — Л.: изд. ДГУ, 1966. — С. 454—461.
2. Литвинов В.Я. О силовом подобии при нагружении модели в центрифуге // Разработка рудных месторождений. — К.: Техника. — 1979. — Вып. 28. — С. 58—61.
3. Гуминский М.В., Литвинов В.Я., Зайцев Н.М. Некоторые вопросы прикладной математики // Разработка рудных месторождений. — К.: Техника. — 1971. — Вып. 5. — С. 25—31.
4. Борисенко С.Г., Резников М.А. Построение поверхностей сдвижения в горных породах ослабленных выработками // Горный журнал. — 1965. — С. 20—25.
5. Динник А.Н. Распределение напряжений вокруг подземных горных выработок // Труды совещания по управлению горным давлением. — Изд-во АН СССР. — 1938. — С. 34—39. ГИАБ

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Швагер Наталья Юрьевна — кандидат технических наук, доцент,
Комисаренко Татьяна Анатольевна — кандидат технических наук, доцент,
Комисаренко Анатолий Александрович — аспирант,
Швагер Юрий Олегович — студент,
Криворожский технический университет, тел.: (0564) 409-61-27.



РУКОПИСИ, ДЕПОНИРОВАННЫЕ В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ «ГОРНАЯ КНИГА»

АППАРАТНЫЕ И СХЕМОТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ ИСПОЛНЕНИЯ ИСКРОЗАЩИТЫ И ВЗРЫВОЗАЩИТЫ, ПОДХОДЫ ДЛЯ ИХ РЕАЛИЗАЦИИ (№900/06-12 от 21.03.12, 6 с.)

Волошиновский К.И. — кандидат технических наук, Московский государственный горный университет, e-mail: volkir@nm.ru

Рассмотрены особенности работы искрозащиты импульсных цепей. Импульсные сигналы используются для управления более мощными электрическими цепями, а также ключами и ключевыми схемами, которые приводят к коммутации и перекоммутации электрических цепей, что в ряде случаев требует обеспечения искрозащиты не только от воспламенения взрывоопасной смеси под действием токов вnominalном режиме, но и обеспечения защиты от токов короткого замыкания, что в частности позволяет рассмотреть особенности перекоммутации, связанные с увеличением амплитуды напряжения или мощности тока после предохранителей структурных схем и барьеров искрозащиты.

Ключевые слова: импульсный сигнал, взрывозащита, искрозащита, ток.

HARDWARE AND CIRCUIT DECISIONS FOR IMPLEMENTING SPARK AND EXPLOSION SAFETY, BASIC IMPLEMENTATION

Voloshenovskiy K.I.

In the article considered the features of functioning and sparksafety of impulse circuits. Where impulse signals are used to control more powerful electrical schemes with key elements and IGBT-modules and drivers, opto-keys, set going to commutation and overcommutation of electrical & electronical circuits sometimes demands not only to provide spark & explosion safety under the currents in nominal mode but also short lock-current safety providence, which allows to examine the features of overcommutation, related to increase of voltage amplitude or power of current after safety pilot fuses of structural schemes and sparksafety barriers.

Key words: pulse signal, explosion protection, implementing spark, current.