

УДК 622.831:620.171.5

А.С. Гумённый, В.В. Дырдин, Т.И. Янина, А.А. Мальшин

ОЦЕНКА НАПРЯЖЕНИЙ В КРАЕВЫХ ЗОНАХ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД С ПОМОЩЬЮ СПЛОШНОГО ФОТОУПРУГОГО ДАТЧИКА

Приведено теоретическое обоснование возможности применения сплошного фотоупругого датчика для непрерывного контроля изменения напряженного состояния массива горных пород.

Ключевые слова: механические напряжения, фотоупругий датчик, интерференционная картина, уголь, порода, геомеханические измерения.

Увеличение глубины горных работ и вовлечение в разработку пластов со сложными горно-геологическими условиями сопровождаются различными проявлениями горного давления [1].

Существующие методы контроля, основанные на явлении фотоупругости, обладают рядом преимуществ по сравнению с другими методами [2], но трудоемки и не позволяют непрерывно оценивать изменение напряженного состояния массива. Также они требуют присутствия оператора непосредственно на месте измерения. Поэтому задача разработки метода на основе явления фотоупругости, который позволял бы осуществлять контроль напряженного состояния массива непрерывно и в автоматическом режиме, является актуальной.

На сегодняшний день существует методика геомеханических измерений, предложенная Г.И. Кулаковым [3]. В данной методике используется фотоупругий датчик с центральной скважиной, который выполняет роль концентратора напряжений. Получаемая интерференционная картина имеет сложное строение и обрабаты-

вается на месте измерения оператором, поэтому данный метод, обладая определенными достоинствами, в то же время не может обеспечить оперативность оценки состояния массива.

Если использовать в качестве чувствительного элемента сплошной фотоупругий датчик (без центральной скважины), то интерференционную картину от такого датчика можно обрабатывать непрерывно и в автоматическом режиме, поскольку она имеет менее сложную конфигурацию. Область применения оптических датчиков ограничена его оптика механическими параметрами, а так же механическими параметрами массива [4].

Связь между механическими напряжениями и параметрами интерференционной картины, полученной с помощью фотоупругого датчика, описывается следующим соотношением [3]:

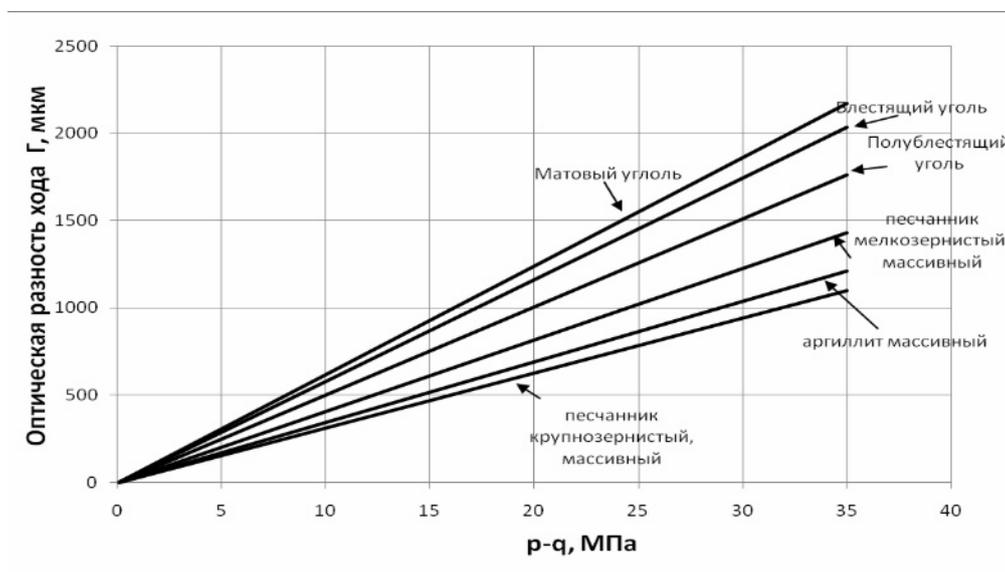
$$\Delta = Cd(\sigma_1 - \sigma_2) \quad (1)$$

где Δ — разность хода оптических лучей, d — толщина фотоупругого датчика, C — оптическая постоянная материала по напряжениям, $(\sigma_1 - \sigma_2)$ — разность главных напряжений.

Таблица 1

Исходные данные для расчета разности хода для различных горных пород и углей

Угли и породы	Расчетный коэффициент b1	Модуль сдвига G, МПа	Коэффициент Пуассона ν	Модуль упругости E, МПа
Блестящие угли, пласт горелый, ш. Тырганская	2,1929784	210084,03	0,19	500000
Полублестящие угли, пласт 3, ш. Новая	1,897153	420168,07	0,19	1000000
Полублестящие переходные к полуматовым, пласт мощный, ш. Тырганская	2,3418555	119047,62	0,26	300000
Полуматовый уголь, пласт садовый, ш. Центральная,	2,20281	201612,9	0,24	500000
Матовый уголь, лутугунский пласт, ш. им. Калинина	2,3397907	123966,94	0,21	300000
Песчаник мелкозернистый, массивный	1,3050404	1138211,4	0,23	2800000
Аргиллит массивный	1,5403729	775862,07	0,16	1800000
Песчаник крупнозернистый, массивный	1,1866356	1370967,7	0,24	3400000

**Рис. 1. Зависимость оптической разности хода лучей в сплошном фотоупругом датчике от приложенной нагрузки для углей и горных пород**

Для случая плоского напряженного состояния главные напряжения находятся из выражения [3]:

$$\sigma_{1,2} = \frac{(\sigma_{r1} + \sigma_{\theta1})}{2} \pm$$

$$\pm \frac{\sqrt{(\sigma_{r1} + \sigma_{\theta1})^2 + 4\tau_{r\theta1}^2}}{2} \quad (2)$$

где σ_{r1} — радиальное напряжение в датчике, $\sigma_{\theta1}$ — тангенциальное (кольцевое) напряжение в датчике, $\tau_{r\theta1}$ — касательное напряжение в датчике, r, θ — текущие полярные координаты.

В случае плоского напряженного состояния и равномерно распределенной нагрузки во взаимно перпендикулярных направлениях p и q формулы для расчета напряжений принимают вид [3]:

$$\begin{aligned} \sigma_{r1} &= \frac{(p+q)a_1}{2} + \frac{(p-q)b_1 \cos(2\theta)}{4}, \\ \sigma_{\theta1} &= \frac{(p+q)a_1}{2} - \frac{(p-q)b_1 \cos(2\theta)}{4}, \\ \tau_{r\theta1} &= \frac{(p-q)b_1 \sin(2\theta)}{4}, \end{aligned} \quad (3)$$

где a_1, b_1 — расчетные коэффициенты.

Подставляем (3) в (2), а затем полученные выражения в (1), после несложных преобразований формула (1) примет вид:

$$\Delta = \frac{Cdb_1(p-q)}{2}. \quad (4)$$

В соответствии с формулой (4) рассчитаем разность хода лучей в датчике для различных пород и углей при различной нагрузке (рис. 1). Расчет производился для глубины 400 метров. При этом $q=10$ МПа, а p изменялось от 10 МПа до 40 МПа с шагом 2,5 МПа. Исходные данные для расчета приведены в таблице [5]. Для оптического стекла датчика использованы следующие данные: $\gamma=0,21$, $E=823000$ МПа, $G=340082,6$ МПа, $d=2$ см, $C=2,65$ мкм*см/кгс.

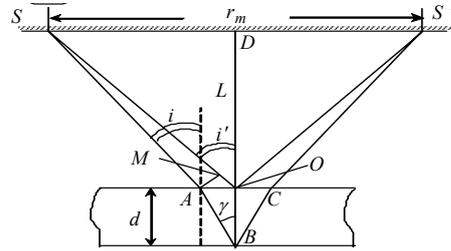


Рис.2. Схема к расчету оптической разности хода при прохождении луча через датчик

Определим связь параметров интерференционной картины, полученной с помощью сплошного фотоупругого датчика, с разностью главных напряжений.

В соответствии с рис.2 отраженные от передней и задней поверхности стеклянного датчика световые лучи интерферируют между собой.

Разность хода лучей $SABCS'$ и SOS' (рис. 2) равна

$$\Delta = 2ABn - (2MO \pm \lambda/2), \quad (5)$$

где $n = n_0 + n'$ — показатель преломления, n' — изменение показателя преломления, обусловленное изменением нагрузки; $\lambda/2$ — изменение разности хода при отражении луча SO от оптически более плотной среды.

После упрощений выражение (5) примет вид:

$$\Delta = 2d\sqrt{n^2 - \sin^2 i} \mp \lambda/2. \quad (6)$$

Из (1) и (6) получим:

$$2d\sqrt{n^2 - \sin^2 i} \mp \lambda/2 = Cd(\sigma_1 - \sigma_2). \quad (7)$$

Данное выражение устанавливает количественную связь между показателем преломления оптического датчика и разностью главных механических напряжений.

Темные кольца наблюдаются, если оптическая разность хода Δ равна

$$\Delta = (2m \mp 1)\lambda / 2, \quad (8)$$

где $m = 1, 2, 3 \dots$ — интерференционный порядок.

Сравнивая (6) и (8), условие наблюдения темных колец представим в виде

$$2d\sqrt{n^2 - \sin^2 i} = m\lambda. \quad (9)$$

Для малых углов i выражение (9) в соответствии с формулами приближения можно записать:

$$2d\left(n^2 - \frac{1}{2} \frac{r_m^2}{(2L)^2}\right) \approx m\lambda.$$

Откуда получаем

$$r_m^2 = \frac{8n^2L^2 - m4n\lambda L^2}{d}. \quad (10)$$

Из (10) следует, что радиус определенного интерференционного кольца зависит от показателя преломления, изменение которого обусловлено изменением разности главных напряжений.

Вследствие своей конструкции фотоупругий датчик регистрирует изменение плоского напряженного состояния объекта, а массив горных пород находится в сложном объемном напряженном состоянии, поэтому возникает вопрос, какие напряжения датчик будет регистрировать.

Данный вопрос рассматривался в литературе [1],[6]. При этом считается, что материал датчика и породный массив — однородны, изотропны и упруги.

Так как размеры датчика малы по сравнению с расстояниями, на которых неоднородность массива становится заметной, то датчик можно счи-

тать точкой. Поле напряжений в точке массива, где установлен датчик, характеризуется тремя главными напряжениями $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ определенным образом ориентированными относительно датчика. Если совместить ось z декартовой системы координат с осью скважины, то квазиглавные напряжения в массиве в плоскости измерения xy , перпендикулярной оси датчика, найдутся по составляющим σ_x, σ_y и τ_{xy} :

$$(\sigma'_1, \sigma'_2)_z = \frac{(\sigma_x + \sigma_y)}{2} \pm \frac{\left[\sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2} \right]}{2}.$$

При условии, что $q = \sigma'_1, p = \sigma'_2$, теорию взаимодействия фотоупругого датчика с массивом горных пород для плоского случая можно распространить на сложное объемное напряженное состояние породного массива.

Таким образом, фотоупругий датчик, установленный в породном массиве, находящемся в сложном объемном напряженном состоянии, реагирует на квазиглавные напряжения, действующие в плоскости, перпендикулярной оси датчика. Проведенные исследования показали, что можно разработать систему непрерывного контроля напряженного состояния массива горных пород, которая будет объединять преимущества фотоупругих датчиков без центральной скважины и системы непрерывного контроля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Плотников Е.А. Предотвращение динамических и газодинамических явлений при подземной разработке угольных пластов / Е.А. Плотников, В.В. Дырдин, И.С. Елкин, Т.Н. Гвоздикова. — Кемерово: Кузбассвуиздат, 2010. — 159 с.
2. Дырдин В.В. Контроль напряженного состояния удароопасных пластов на основе волоконно-оптических элементов / В.В. Дырдин, Т.И. Янина, А.А. Мальшин. — Кемерово: Кузбассвуиздат, 2004. — 95 с.
3. Гришко Г.И. Измерение напряжений в горных породах фотоупругими датчиками / Г.И. Гришко, Г.И. Кулаков. — Новосибирск: Наука, 1978. — 144 с.
4. Гуменный А.С. Область применения интерференционного метода контроля на напряженного состояния твердых тел с упругими характеристиками / А.С. Гуменный, В.В. Дырдин, Т. И. Янина, А.Е. Мальшин // Журн. Вестник КузГТУ. — 2010. — № 1. — С. 21-22.
5. Штумпф Г.Г. Физико-технические свойства горных пород и углей Кузнецкого бассейна: справочник / Г.Г. Штумпф, Ю.А. Рыжков, В.А. Шаламанов, А.И. Петров. — М: Недра, 1994. — 150с.
6. Кулаков Г.И. Фотоупругие датчики для геомеханических измерений (теоретические основы) / Г.И. Кулаков. — Новосибирск: Издательство сибирского отделения российской академии наук, 1997. — 152 с. **ГИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Гуменный Антон Сергеевич — аспирант, gumeas@yandex.ru,
Дырдин Валерий Васильевич — доктор технических наук, профессор,
Янина Татьяна Ивановна — кандидат технических наук, доцент,
Мальшин Анатолий Александрович — кандидат технических наук, доцент,
Кузбасский государственный технический университет.



ГОРНАЯ КНИГА-2012



Дисперсное золото: геологический и технологический аспекты

А.Г. Секисов, Н.В. Зыков, В.С. Королёв

Год: 2012

Страниц: 224

ISBN: 978-5-98672-314-3

UDK: 622.34+550.4

Приведены результаты исследований плазмохимических, фотохимических и электрохимических процессов воздействия на минеральные матрицы при извлечении дисперсного золота во взаимосвязи с минералогическими и геолого-технологическими особенностями руд. Рассмотрены теоретические и экспериментальные аспекты моделей процессов окисления, комплексообразования, сорбции, электроосаждения. Представлен анализ перспективных отечественных и зарубежных технических решений в области аналитических методов определения содержания дисперсного золота в пробах, изложены технологические особенности БВР и управление качеством золотосодержащих руд и технологий их переработки. Дана экологическая и экономическая оценка эффективности эксплуатации месторождений.