ФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА

УДК 622.831:620.171.5

А.С. Гуменный

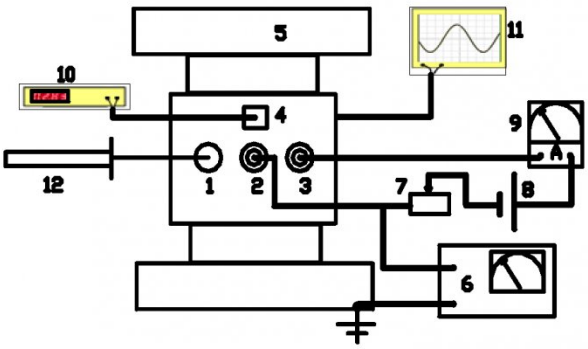
ОЦЕНКА НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ОБРАЗЦА ГОРНОЙ ПОРОДЫ СПЛОШНЫМ ФОТОУПРУГИМ ДАТЧИКОМ, ЗВУКОВЫМ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМИ МЕТОДАМИ В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ

Разработка полезных ископаемых подземным способом, как правило, сопровождается опасными проявлениями горного давления (горные удары, стреляние, внезапные выбросы угля и газа, обрушение кровли), поэтому необходимо иметь достаточно полные и надежные данные о напряженном состоянии массива горных пород для своевременного принятия технологических решений по противодействию опасному увеличению горного давления.

Нами разработан метод оценки изменения напряженного состояния массива горных пород с помощью сплошного фотоупругого датчика и современных компьютерных технологий [1-3]. Сплошной фотоупругий датчик имеет форму цилиндра с диаметром d=40 мм и высотой h=60 мм, материалом для изготовления служит оптическое стекло марки К-8. Кроме того, одно из оснований датчика покрыто зеркальным напылением.

В работах [2-4] показано, что при попадании оптического сигнала от лазера на сплошной фотоупругий датчик, он отражается от передней и задней стенки датчика и образует интерференционную картину, которая представляет собой чередование темных и светлых колец. При увеличении нагрузки на датчик изменяется его показатель преломления, из-за этого изменяется и радиус интерференционных колец. Была получена теоретическая зависимость (1), связывающая нагрузку на датчик и радиус интерференционного кольца.

$$(p-q)=\frac{1}{Cb_1}\left(\sqrt{\frac{r_m^2 d^2+m^2\lambda^2 L^2}{4d^2L^2}}-n_0\right) \quad (1)$$



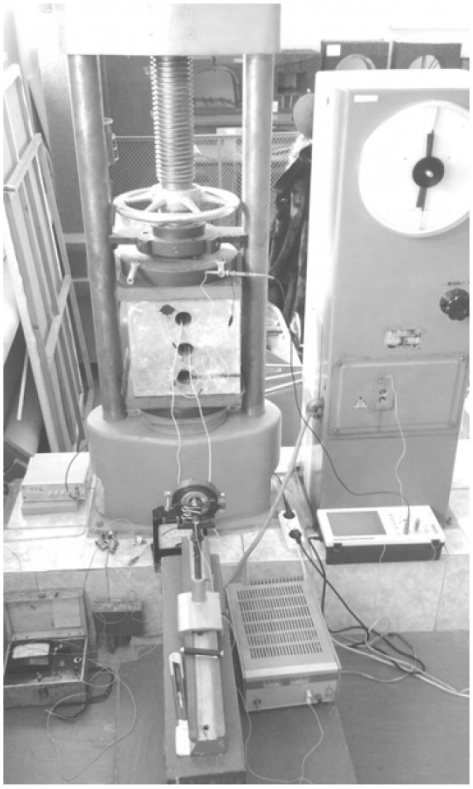


Рис.1. Схема и фотография лабораторной установки.
1 - сплошной фотоупругий датчик; 2,3 - датчики для измерения потенциала и удельного сопротивления; 4 – пьезоэлемент; 5 – пресс; 6 - прибор для измерения потенциала; 7 – ограничивающее сопротивление; 8 - источник питания; 9 – микроамперметр; 10 - звуковой генератор;11 – осциллограф; 12 - лазер с экраном.

где p и q – равномерно распределенная нагрузка на датчик во взаимно перпендикулярных плоскостях; b_1 - постоянный коэффициент, зависящий от упругих постоянных и относительных размеров датчика; L - расстояние от фотоупругого датчика до источника оптического сигнала; m - порядковый номер интерференционной полосы; n_0 – показатель преломления фотоупругого датчика без нагрузки; C – оптическая постоянная материала по напряжениям; r_m – радиус m-го интерференционного кольца; d – толщина сплошного фотоупругого датчика; λ - длина волны света, падающего на сплошной фотоупругий датчик.

Целью данной работы является сопоставление оценки напряженного состояния образца горной породы различными методами.

Схема лабораторной установки и ее фотография приведены на рис.1.

Для проведения лабораторного эксперимента был специально изготовлен образец из песчано-цементной смеси в соотношении 1:3 и размерами 300*300*300 мм, с тремя скважинами для установки датчиков. В скважину 1 был установлен сплошной фотоупругий датчик с помощью эпоксидного клея и специального полукруглого лотка, закрепленного на установочной штанге. Лоток с клеем помещался в скважину, переворачивался и извлекался, затем в скважину вставлялся фотоупругий датчик и с легким усилием вдавливался до тех пор, пока клей не заполнял зазор между датчиком и стенками скважины. Для правильной установки фотоупругого датчика должны быть соблюдены следующие условия:

- ось датчика должна совпадать с осью скважины, потому что перекос датчика в скважине приводит к тому, что оптическую картину с датчика получить невозможно;

- фотоупругий датчик должен устанавливаться на некотором расстоянии от торца скважины для уменьшения влияния краевого эффекта;

- слой клея между стенками скважины и датчиком должен быть равномерным и сплошным;

- клей не должен попасть на лицевую поверхность датчика, иначе интерференционная картина от датчика будет искажена, что затруднит ее обработку;

- зеркальное напыление на задней стенке датчика должно быть защищено от воздействия клея и механических повреждений, иначе отражение оптического сигнала от задней стенки будет искажено и качественную интерференционную картину получить невозможно.

В скважины 2, 3 были установлены датчики геоэлектрического поля и удельного электросопротивления.

Схема этих датчиков приведена на рис.2, где 1- тонкий поролон (толщина не более 5 мм), 2, 3 - передняя и задняя пробки, 4 – медная трубка, 5 – раствор медного купороса на желатине, 6 – контактный провод, припаянный к медной трубке, 7 – цилиндр из брезента.

В датчик заливался 1Н раствор медного купороса на желатине. Важно, чтобы пробки 2 и 3 обеспечивали достаточную герметичность датчика, а поролон 1 плотно и без складок прилегал к брезенту 7.

На бетонный куб для регистрации амплитуды звуковых колебаний были установлены пьезоэлементы 4 (преемник и излучатель). Излучатель был подключен к звуковому генератору 10, а приемник - к осциллографу 11.

Также между электродами 2 и 3 измерялся ток, и рассчитывалось удельное электросопротивление. Для измерения тока между электродами 2,3 использована схема из источника напряжения 8, микроамперметра 9, датчиков 2, 3 и ограничивающего сопротивления 7 (рис.1), а для расчета удельного сопротивления выражение [5]:

$$\rho = K_З \left(\frac{U}{I} - R_{огр} \right), \qquad (2)$$

где ρ – удельное электросопротивление, U – напряжение между датчиками 2,3, I – ток между датчиками 2,3, регистрируемый микроампер-

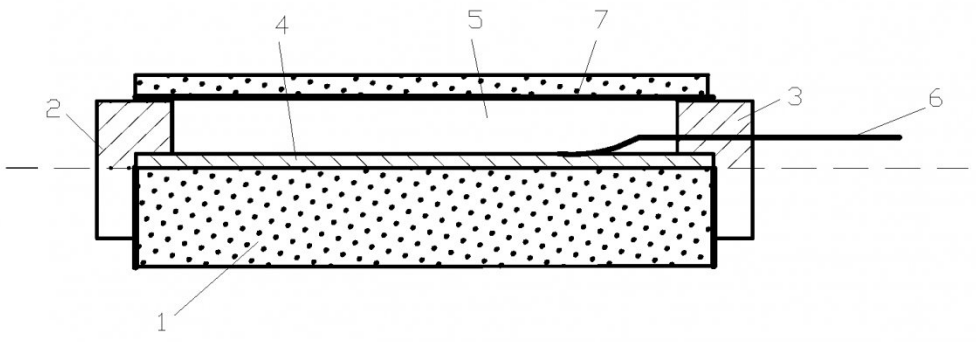


Рис.2. Датчик для измерения потенциала естественного геоэлектрического поля

метром 9; $K_з$ – коэффициент заземлителя, в случае цилиндрического заземлителя, когда его длина больше диаметра определяется по формуле:

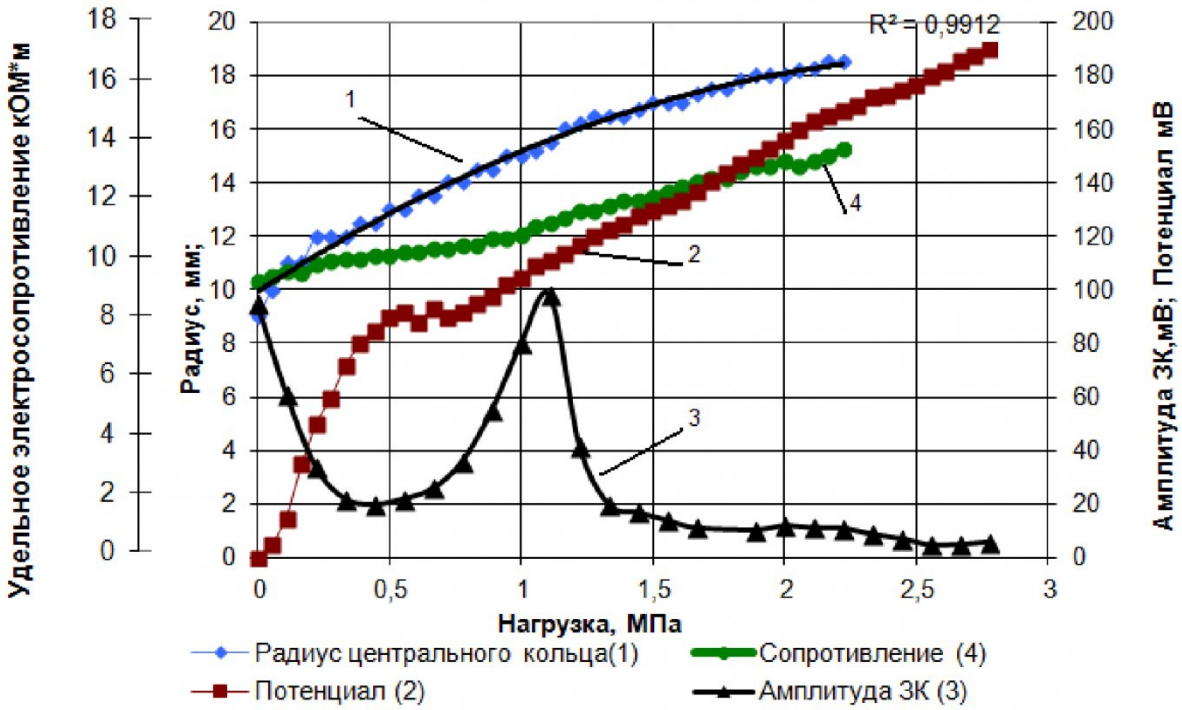
$$K_З = \left(\frac{2\pi \cdot l_з}{\ln(2\frac{l_з}{d_з})} \right),$$

где $l_з$ – длина цилиндрического заземлителя, $d_з$ – диаметр цилиндрического заземлителя.

Для регистрации изменения потенциала был использован прибор МК-3, один из его входов присоединялся к датчику 2, а другой к шине заземления.

Источником оптического сигнала для сплошного фотоупругого датчика служил полупроводниковый лазер с длиной волны 532 нм.

Лазер устанавливался в регулируемый держатель, закрепленный на лабораторном рельсе. В держатель встроена рассеивающая линза и экран для наблюдения интерференционной картины. Изменение напряженного состояния бетонного образца создавалось гидравлическим прессом 5 со стрелочным индикатором нагрузки, максимальная нагрузка, создаваемая прессом, составляла 50 т.



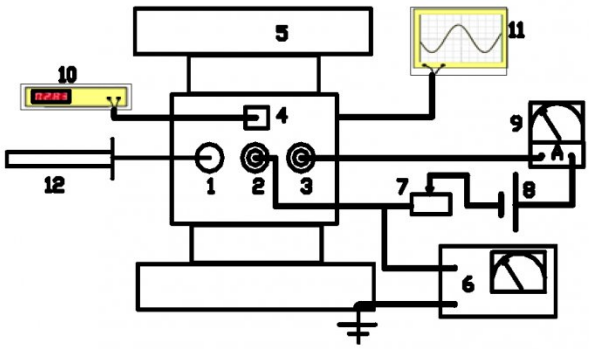


Рис.3. Результаты лабораторного эксперимента

В ходе эксперимента измерялись следующие физические параметры в зависимости от нагрузки на бетонный образец: удельное электросопротивление, потенциал, амплитуда звуковых колебаний, радиус интерференционного кольца.

Результаты экспериментов приведены на рис.3. Здесь представлены зависимости радиуса центрального интерференционного кольца, удельного электросопротивления образца бетона, естественного электрического потенциала, амплитуды звуковых колебаний от приложенной к бетонному образцу нагрузки.

Увеличение радиуса центрального интерфе-

ренционного кольца описывается уравнением

$$r = -1,165\sigma^2 + 6,41\sigma + 9,92$$

(надежность аппроксимации R^2=0.99). При увеличении нагрузки на образец увеличивается и радиус центрального интерференционного кольца.

Характер экспериментальной зависимости радиуса цетрального интерференционного кольца при нагрузке и разгрузке образца соответствует теоретической зависимости (1).

Удельное электросопротивление с ростом внешней нагрузки на образец также растет. Подобная зависимость чаще всего встречаются в крепких и малотрещиноватых горных породах. Поскольку опытный образец практически лишен трещиноватости, то при попадании в зону растягивающих напряжений начинают образовываться трещины и прорастать, что ведет к увеличению удельного электросопротивления образца. Такое поведение характерно для невлажных образцов. Поэтому с ростом нагрузки на бетонный образец удельное электросопротивление между датчиками 2,3 тоже увеличивается.

Потенциал естественного поля качественно соответствует росту напряжений в образце. А амплитуда звукового сигнала в целом уменьшается, но при нагрузке около 1 МПа происходит перестройка структуры образца и его трещиноватости в области приемника и излучателя звукового сигнала, что находит отражение в локальном увеличении амплитуды сигнала. При последующем увеличении нагрузки на образец происходит дальнейшее увеличение трещиноватости и амплитуда звуковых колебаний резко падает.

Таким образом, проведенный эксперимент показал, что изменение радиуса центрального интерференционного кольца соответствует изменению внешней нагрузки, что так же достаточно убедительно подтверждается другими параметрами геофизического контроля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А.с. RU 2 421615 C1, МПК E21C 23/00. Устройство непрерывного контроля массива горных пород/ ГОУ Кузбасский Государственный технический университет; А.С. Гуменный [и др.]. – Опубл в Б.И. 2011. - №17.

2. *Гуменный А.С.* Зависимость параметров интерференционной картины сплошного фотоупругого датчика от механических напряжений / В. В. Дырдин, Т.И. Янина. - Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности, 2011. – № 2. С. 69-72

3. *Гуменный А.С.* Оценка напряжений в краевых зонах массива горных пород с помощью сплошного фотоупругого датчика // Горный информационно-аналитический бюллетень, 2012. - №11. С. 103-107.

4. *Гуменный А.С.* Область применения интерференционного метода контроля напряженного состояния твердых тел с упругими характеристиками / В. В. Дырдин, Т.И. Янина. - Вестник КузГТУ, 2010, - №1. - С. 21-22.

Автор статьи:

Гуменный
Антон Сергеевич ,
аспирант кафедры физики КузГТУ,
email: gumeas@yandex.ru,
тел. 89516080642.

УДК 622.831:620.171.5

А.С. Гуменный

ОЦЕНКА ИНФОРМАТИВНОСТИ МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ОБРАЗЦА ГОРНЫХ ПОРОД СПЛОШНЫМ ФОТОУПРУГИМ ДАТЧИКОМ

На протяжении последних семидесяти лет задача оперативного контроля напряженного состояния массива горных пород при подземной разработке полезных ископаемых остается одной из первостепенных. Разработаны различные методы изучения напряженного состояния массива горных пород: визуальные, по выходу буровой мелочи, тензометрические, механические, геофизические, акустические, сейсмические, электромагнитные, радиационные, тепловые.