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.

Эффективность указанных методов существенно различается в зависимости от горногеологических и горнотехнических условий. Поэтому определение информативности метода является его важной характеристикой при организации контроля напряженного состояния массива горных пород в каждом отдельном случае.

Для определения информативности метода нами была разработана экспериментальная установка, схема которой приведена на рис. 1.

. Установка состоит из гидравлического пресса 3 (максимальная нагрузка 50 т.), сплошного фотоупругого датчика 1, датчика 2 и прибора 4 для измерения потенциала стационарного естественного электрического поля (ЕСЭП), источника оптического сигнала 5 с экраном. В качестве исследуемого образца использовался куб из песчано-цементной смеси с размерами 300*300*300 мм, в котором имелись скважины для установки датчиков.

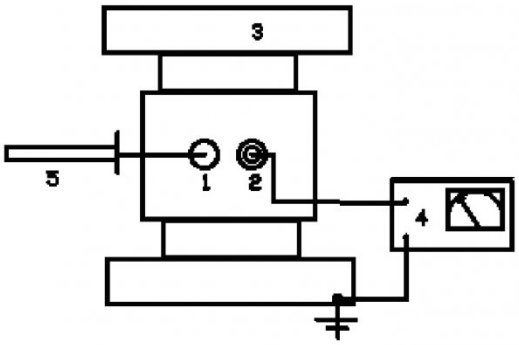

Рис. 1. Схема экспериментальной установки

К одной из входных клемм прибора 4 был подключен датчик 2, другая была подключена к шине заземления. Сплошной фотоупругий датчик был вклеен в скважину, световой сигнал от источника оптического излучения 5 попадал на сплошной фотоупругий датчик, отражался от передней и задней стенок датчика, после чего в отраженном свете образовывалась интерференционная картина в виде колец, которые рассматривались на экране. При увеличении нагрузки на образец фиксировалось изменение потенциала естественного электрического поля, а так же изменение радиуса центрального интерференционного кольца [1,4]. Для каждой нагрузки производилось 5 измерений радиуса и потенциала. Результаты см. на рис.2 и 3.

В соответствии с [2] для оценки информативности метода используются следующие критерии: ошибка метода, коэффициент информативности метода и количество получаемой информации о напряжениях в массиве горных пород.

Ошибку метода рассчитали по формуле:

$$\delta = \frac{100}{2I}, \qquad \textbf{(1)}$$

где δ – относительная ошибка в процентах, I – информативность метода в битах; а информативность метода оценили по формуле:

$$I = 1,445 \ln\left(\frac{\Delta П \cdot \sqrt{n}}{t \cdot k_n \cdot \sqrt{2}}\right), \qquad (2)$$

где $\Delta П$ – изменение радиуса интерференционного кольца в образце при нагружении его до разрушающих напряжений, n – число измерений, k_n – усредненный коэффициент вариации, t – коэффициент Стьюдента при α=0,95.

Количество информации о напряжениях в образце оценивалось по формуле:

$$I_\sigma = 1,445 \ln\left(\frac{\sigma_{\%}}{k_n}\right), \qquad (3)$$

где $\sigma_{\%}$ - значение напряжений в образце, которые фактически могут быть зафиксированы дан-

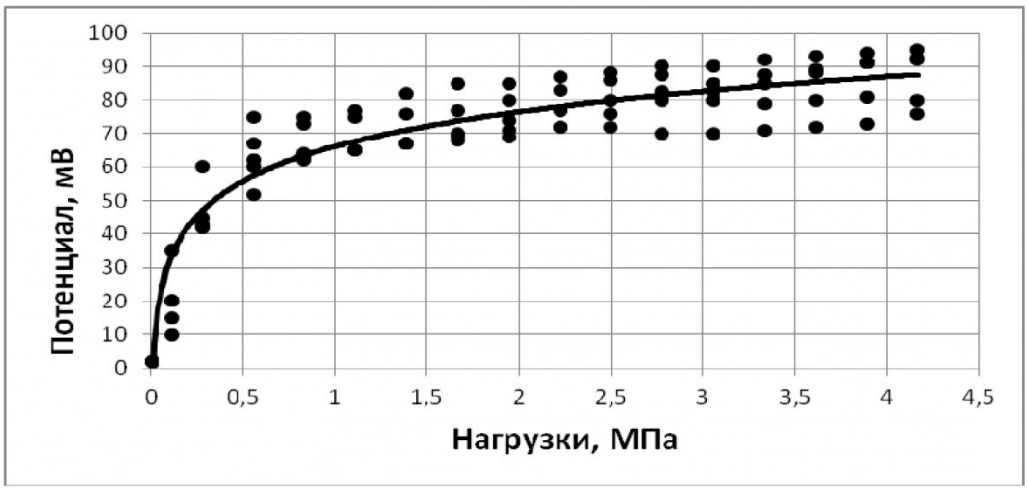

Рис. 2. Зависимость потенциала естественного стационарного электрического поля от нагрузки

ным методом в процентном соотношении к разрушающим.

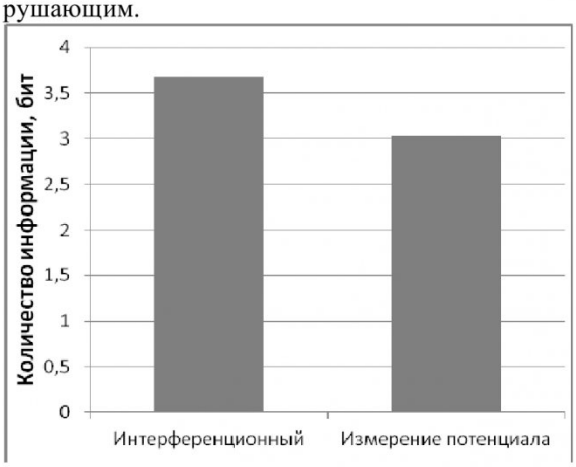

Рис. 3. Количество информации о напряжениях в образце для интерференционного и ЕСЭП методов

Коэффициент вариации рассчитывался следующим образом:

$$k_n = \frac{\sigma \cdot 100\%}{\overline{x}} = \frac{\sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(x_i - \overline{x})^2}}{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i} \cdot 100\%,$$

Для интерференционного метода и метода определения потенциала естественного стационарного электрического поля в соответствии с (3) было рассчитано количество информации о напряжениях в образце (рис.4), при которых наблюдается значимое изменение измеряемого параметра.

На рис.5 представлена рассчитанная информативность для интерференционного метода и метода измерения потенциала естественного поля, а так же информативность различных методов локального геоконтроля [3]. Так же для приведенных методов была рассчитана ошибка метода по формуле (1), результаты расчета представлены на рис.6.

В [2] рассматривается вопрос о применении того или иного метода в зависимости от его предварительной информационной оценки:

- при ошибке метода $\delta \leq$ 25-30% на основании соответствующих геофизических данных можно получить достаточно надежную количественную информацию о напряжениях в массиве;

-при ошибке метода 25-30%$\leq\delta\leq$50% геофизические измерения могут быть использованы для грубой численной оценки напряжений в массиве;

-при ошибке метода δ>50% геофизические измерения могут дать лишь качественное представление о напряжениях в массиве и могут использоваться для временного наблюдения за изменением напряженного состояния массива горных пород.

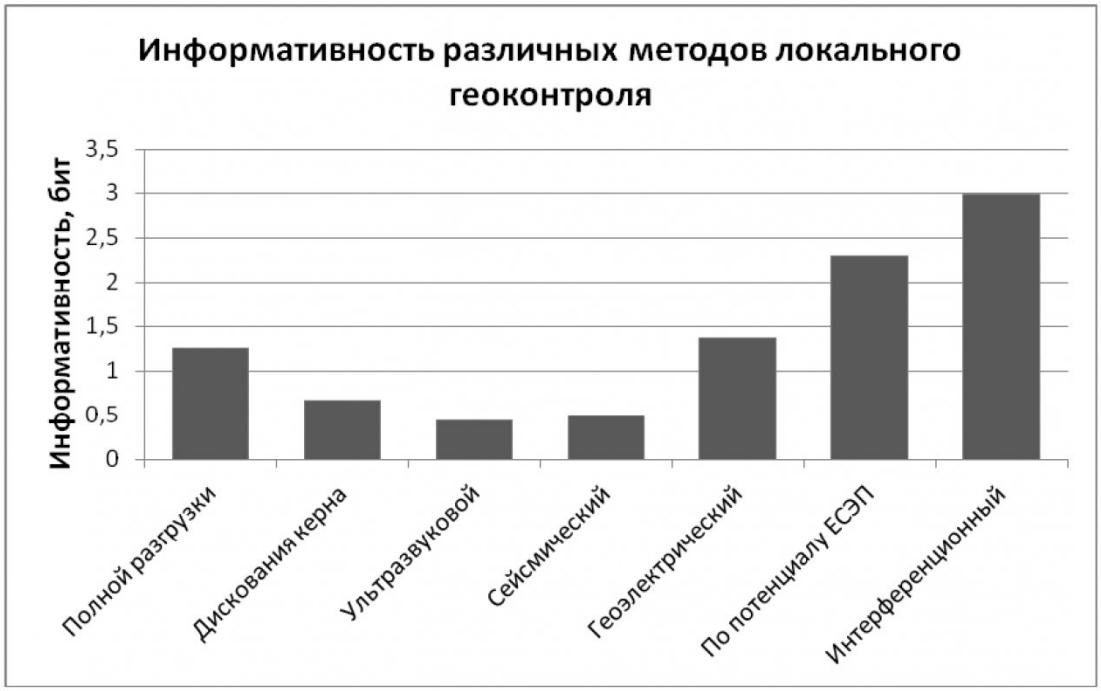

Рис. 5. Информативность различных методов локального геоконтроля; информативность для методов полной разгрузки, дискования керна, ультразвукового, сейсмического и геоэлектрического получена из [3]

ческого и геоэлектрического получена из [3]

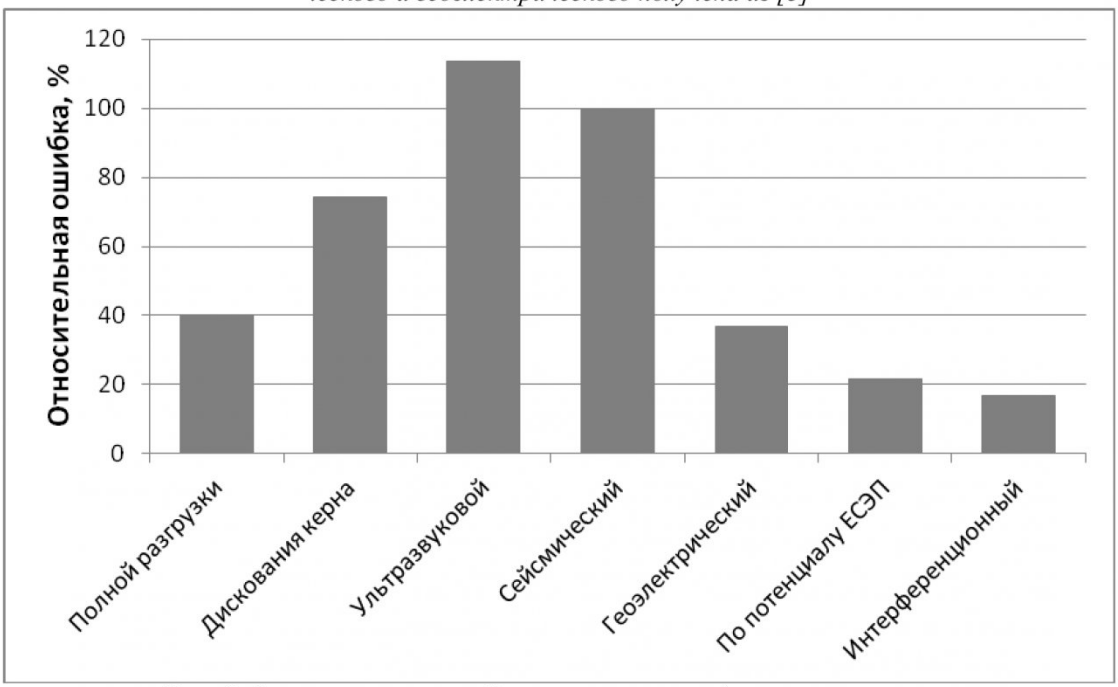

Рис. 6. Относительная ошибка различных методов локального геоконтроля; для метода полной разгрузки, дискования керна, ультразвукового, сейсмического и геоэлектрического относительная ошибка рассчитана в соответствии с данными, приведенными в [3]

В соответствии с приведенными критериями интерференционный метод можно применять для количественной оценки напряженного состояния массива горных пород, так как он, наряду с методом измерения потенциала естественного поля, имеет наименьшую относительную ошибку измерений и максимальную информативность.

В соответствии с полученными данными, информативность интерференционного метода соответствует или превышает уровень информативности других рассмотренных методов контроля напряженного состояния, что позволяет использовать сплошные фотоупругие датчики для количественной оценки и контроля напряженного состояния с наименьшей ошибкой

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *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.

2. *Турчанинов И.А.* Геофизические методы определения и контроля напряжений в массиве /В.И. Панин. – Л.: Наука, 1976. – 163 с.

3. Геоэлектрический контроль на рудниках / С.М. Простов, Б.Г. Тарасов, В.В. Дырдин, В.А. Хямяляйнен. – Кемерово: КузГТУ, 2003. – 166 с.

4. *Гуменный А.С.* Оценка напряжений в краевых зонах массива горных пород с помощью сплошного фотоупругого датчика / В.В. Дырдин, Т.И. Янина. – Горный информационно аналитический бюллетень, 2012. - №11. – С.103-107.

Автор статьи:

Гуменный
Антон Сергеевич,
аспирант каф. физики КузГТУ,
email: gumeas@yandex.ru