

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 центрального 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 малотрециноватых горных породах. Поскольку опытный образец практически лишен трециноватости, 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 электросопро-

тивление 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 трециноватости в области приемника и излучателя звукового сигнала, что находит отражение в локальном увеличении амплитуды сигнала. При последующем увеличении нагрузки на образец происходит дальнейшее увеличение трециноватости 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 С1, 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](mailto: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.

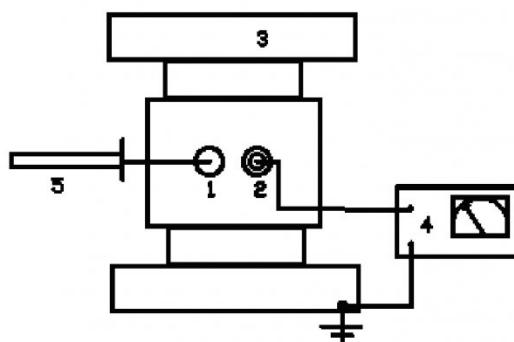


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

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:

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

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

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

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

Количество информации о напряжениях в образце оценивалось по формуле:

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

где  $\sigma\%$  – значение напряжений в образце, которые фактически могут быть зафиксированы дан-

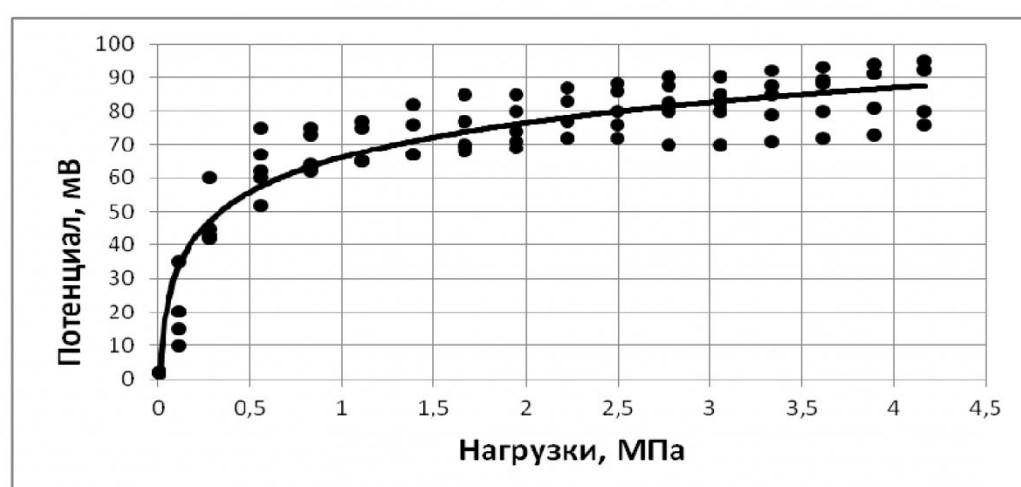


Рис. 2. Зависимость потенциала естественного стационарного электрического поля от нагрузки

ным методом в процентном соотношении к разрушающим.

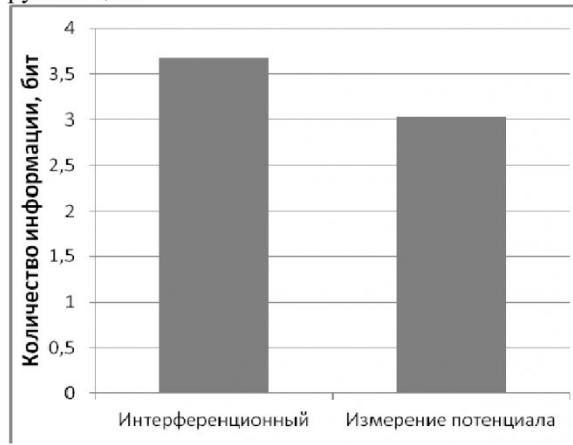


Рис. 3. Количество информации о напряжениях в образце для интерференционного и ЕСЭП методов

Коэффициент вариации рассчитывался следующим образом:

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

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  $\delta \leq 25\text{-}30\%$  на основании соответствующих геофизических данных можно получить достаточно надежную качественную информацию о напряжениях в массиве;

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

- при ошибке метода  $\delta > 50\%$  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]

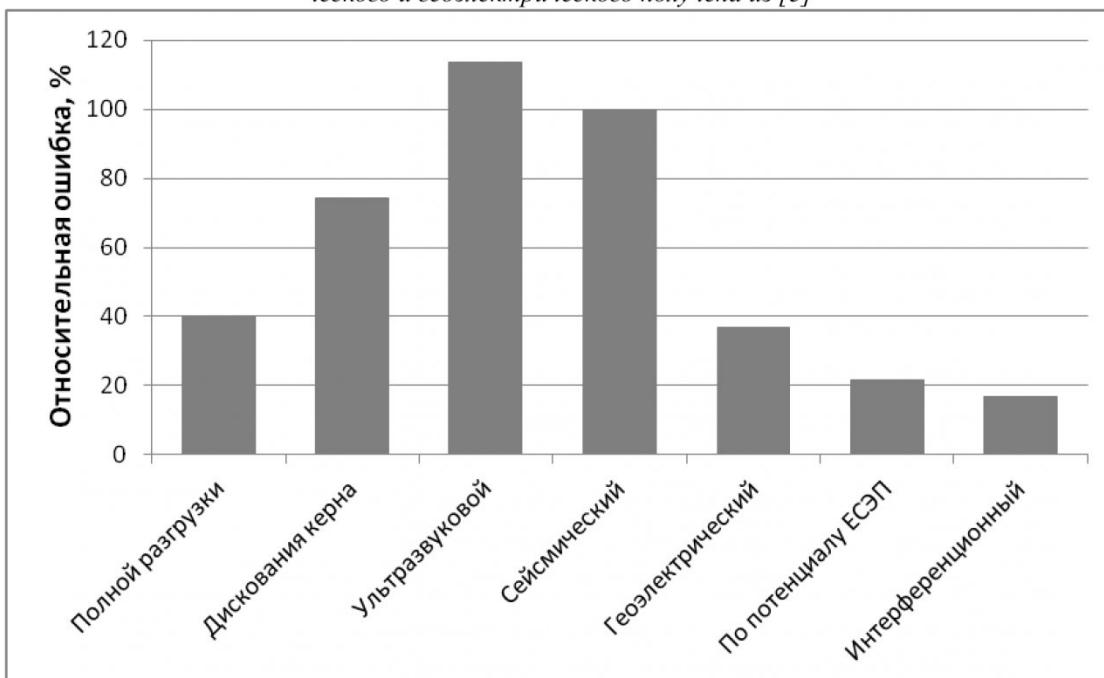


Рис. 6. Относительная ошибка различных методов локального геоконтроля; для метода полной разгрузки, дискования керна, ультразвукового, сейсмического и геоэлектрического относительная ошибка рассчитана в соответствии с данными, приведенными в [3]

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. Хямляйнен. – 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](mailto:gumeas@yandex.ru)