

1980. - № 9. - С. 21-23.

7. Инструкция по безопасному ведению горных работ на пластах, склонных к внезапным выбросам угля, породы и газа. - М.: Недра, 1977. - 159 с.

8. Костыря В.Я., Недосекин Б.Н. и др. Руководство по использованию разгружающего действия полевых выработок, проводимых вблизи крутых выбросоопасных пластов Центрального района Донбасса. Донецк, ЦБНТИ, 1992. - 13 с.

9. Костыря В.Я. Использование эффекта разгружающего действия полевых выработок при восходящем порядке отработки пластов крутого залегания //Эффективная и безопасная подземная добыча угля на базе современных достижений геомеханики. Международная конференция, Санкт-Петербург, ВНИМИ, 17-20 июня 1996. - С. 345-347.

10. Борисов А.А. Механика горных пород и массивов. - М.: Недра, 1980. - 360 с.11. Защитные пласты / Петухов И.М., Линьков А.М, Фельдман И.А. и др. - М.: Недра, 1972. - 306 с.

**УДК 539: 622. 83.551**

С.К. Мещанинов

## **О ВЗАИМОСВЯЗИ ПОВРЕЖДЕННОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД И ИХ ФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ В ЗАДАЧАХ ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ ПОДЗЕМНЫХ ПРОСТРАНСТВ И ПОРОДНЫХ ОБНАЖЕНИЙ**

Розглянуті результати експериментальних дослідів процесу руйнування зразків гірських порід при циклічному навантаженні. Досліджувались діелектричні і акустичні параметри гірських порід. Показано, що наряду з механічними характеристиками, на основі яких може бути обчислене значення ентропії порід, для цієї цілі придатні також і діелектричні характеристики. Зроблено висновок у тому, що контроль діелектричних параметрів елементів порідного оголення може забезпечити достовірний прогноз їх стійкості.

## **ABOUT CORRELATION OF ROCK'S DAMAGING AND ITS PHYSICAL PARAMETERS IN ESTIMATION TASKS OF STEADINESS THE UNDERGROUND SPACE AND ROCK UNCOVERINGS**

There are discussed the experimental results of fracture process of rock samples under the cyclic loading. Were researched dielectric and acoustical rock's parameters. It's showing that with mechanical characteristics, on the base of it may be calculated the entropy value of rocks, for this aim may be applied dielectric characteristics. It's formulated the conclusion that the control of dielectric characteristics of rock uncovering elements can to provide the reliable prognosis of its steadiness.

В настоящее время существует достаточно большое число работ, например [1-5], посвященных контролю и прогнозу устойчивости подземных пространств и породных обнажений. Все они непосредственно связаны с исследованием физико-механических свойств горных пород в лабораторных или шахтных условиях.

Зарегистрированная в 2000 году как открытие «Закономерность изменения устойчивости породных обнажений при периодических нагрузках» [6], устанавливает взаимосвязь между устойчивостью и ростом энтропии элементов этих обнажений. Однако для вычисления энтропии, которая непосредственно измерена быть не может, необходим контроль механических характеристик пород, слагающих обнажение. В большинстве случаев, определение механических характеристик горных пород представляет определенные трудности. В значи-

тельной степени подобные трудности увеличиваются и, как правило, приводят к невозможности проведения испытаний в случае осуществления прогноза, когда необходимо проводить периодические замеры в шахтных условиях.

С точки зрения возможности экспресс-контроля, либо же реализации комплекса мероприятий по организации системы автоматизированного непрерывного контроля для этой цели, пригодны, в первую очередь, методы, основанные на изменении электрических, акустических (ультразвуковых) и, в ряде случаев, некоторых других физических характеристик. Анализ достигнутых на сегодняшний день результатов контроля состояния массива горных пород на границе разрушения, показывает, что задача оценки степени поврежденности приконтурной области с помощью экспресс-методов контроля актуальна и еще далека от решения. Разработка эффективного и надежного способа контроля поврежденности горного массива позволит более эффективно использовать технологическое оборудование, применять более прогрессивные технологии добычи, повысить безопасность труда.

Одним из таких способов является [7] способ контроля диэлектрических свойств. Результаты, полученные с его помощью достаточно обширны, например [7-9], и их анализ позволяет утверждать, что данный метод весьма перспективен и требует дальнейшего развития. В этом смысле одним из наиболее перспективных направлений представляется установление взаимосвязи диэлектрических свойств горных пород как параметров их поврежденности с какой-либо интегральной величиной, позволяющей исследовать эволюцию породы обобщенно, не вникая, с одной стороны, в сложные микроструктурные процессы разрушения, а с другой стороны, однозначно и достоверно описывающим эволюцию породы независимо от условий и методов изменения. Таким параметром является энтропия [10].

Установлению и анализу такой зависимости посвящена настоящая работа. Параллельно, для повышения достоверности результатов осуществлялось ультразвуковое прозвучивание образцов.

При разрушении увеличение объема вещества горной породы в процессе необходимой деформации происходит за счет образующихся трещин, микро-разрывов и пустот. Объемные деформации разрыхления в зависимости от вида напряженного состояния и значения необратимой деформации могут достигать значений от нескольких до десятков процентов [11]. В работе [8] определение диэлектрических свойств представляется как метод, позволяющий характеризовать степень подвижности структурных элементов угля.

На основе проведенных результатов сделан вывод о том, что степень подвижности структурных элементов, характеризруемая тангенсом угла диэлектрических потерь, отражает потенциальную выбросоопасность пласта.

Не подвергая, в целом, выводы работы [8] критике, следует отметить, что разрушение горных пород вследствие проявлений горного давления и ведения горных работ, как правило, происходит по механизму, описанному в [11] и приведенному выше. В соответствии с этим механизмом, мы имеем дело с разрушением (разрыхлением) горной породы. При таком механизме разрушения

не происходит существенного разрушения породы на уровне структурно-химических связей. Имеет место в основном разрыхление материала и заполнение образовавшихся пустот воздухом или другим газом, в атмосфере которого происходит этот процесс. То есть, говоря иными словами, имеет место разрушение конструкции (участка массива, образца и т.п.), но не породы, как вещества. Таким образом, при измерениях относительной диэлектрической проницаемости  $\varepsilon$  и тангенса угла диэлектрических потерь  $tg\delta$  разрушающейся горной породы мы, по существу, измеряем величины  $\varepsilon$  и  $tg\delta$  смеси – трещиноватая горная порода – газ. Степень заполнения горной породы газом непосредственно зависит от ее поврежденности.

С предложенной точки зрения мы имеем разрушение двухфазной статистической смеси,  $\varepsilon$  которой определяется с помощью соотношения [12]:

$$\varepsilon = A + \sqrt{A^2 + \frac{\varepsilon_1 \varepsilon_2}{2}}$$

$$A = [(3\nu_1 - 1)\varepsilon_1 + (3\nu_2 - 1)\varepsilon_2] / 4$$

где:  $\varepsilon_1, \varepsilon_2$  – относительные диэлектрические проницаемости фаз;  $\nu_1, \nu_2$  – объемные концентрации фаз в долях единицы.

Для исследований были взяты образцы следующих горных пород: каменный уголь (ш. Западно-Донбасская, гл. 480 м), алевролит (ш. Западно-Донбасская, гл. 480 м), песчаник (ш. им. Скочинского, гл. 1100 м). Образцы в форме «кубиков» и «балочек» испытывались в лабораторных условиях в режиме циклического нагружения до предела прочности вплоть до разрушения. Перед началом испытаний и после каждого цикла определялась энтропия образцов по методике, описанной в [10] и измерялись их диэлектрические параметры:  $\varepsilon$  и  $tg\delta$ , а также скорость продольной УЗ-волны. Последняя характеристика определялась для контроля достоверности испытаний в смысле накопления в образцах поврежденности. В этом смысле ультразвуковой метод уже очень хорошо себя зарекомендовал [1-3, 5] Полученные результаты в виде графиков представлены на рис. 1-3.

Как видно из полученных зависимостей, все они характеризуются монотонным уменьшением диэлектрических параметров пород и одновременным ростом их энтропии. Причина роста энтропии с развитием поврежденности горных пород подробно рассмотрена в работах [10, 6]. Относительно уменьшение величин  $\varepsilon$  и  $tg\delta$  по ходу разрушения можно сказать следующее. Как было отмечено выше, при разрушении горная порода увеличивает свой объем за счет роста микротрещин, в которые попадает окружающий породу газ. В наших исследованиях образцы находились в воздушной среде, следовательно они «насыщались» воздухом относительно диэлектрическая проницаемость воздуха  $\varepsilon = 1$ , т.е. она заведомо намного меньше относительной диэлектрической проницае-

мости любой горной породы. Таким образом, за счет «разбавления» горной породы средой с воздухом с меньшим значением  $\epsilon$ , происходит уменьшение ее суммарного значения. Те же рассуждения совершенно справедливы относительно величины  $tg\delta$ .

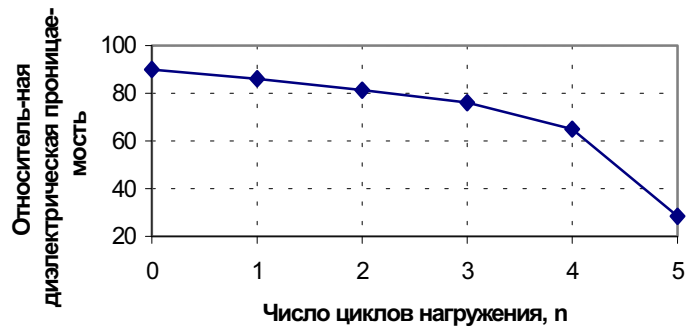


Рис. 1.а - Зависимость относительной диэлектрической проницаемости от числа циклов нагружения; уголь, ш. 3. - Донбасская, гл. 480 м, "балочка"

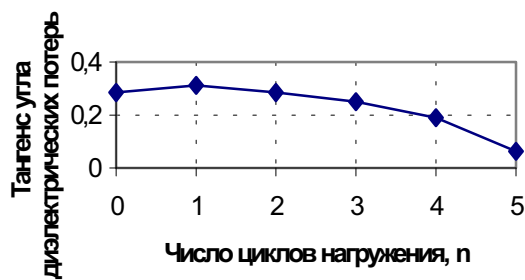


Рис. 1. б - Зависимость тангенса угла диэлектрических потерь от числа циклов нагружения; уголь, ш. 3.- Донбасская, гл. 480 м "балочка"

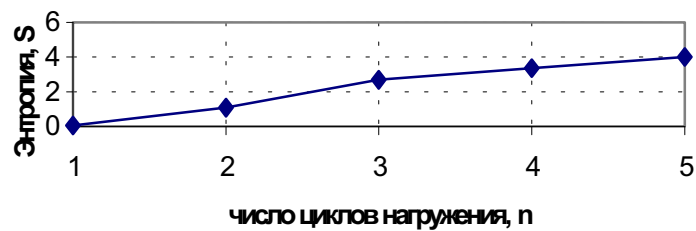


Рис.1в - Зависимость энтропии S от числа циклов нагружения; уголь, ш. 3. - Донбасская, гл. 480 м, "балочка"

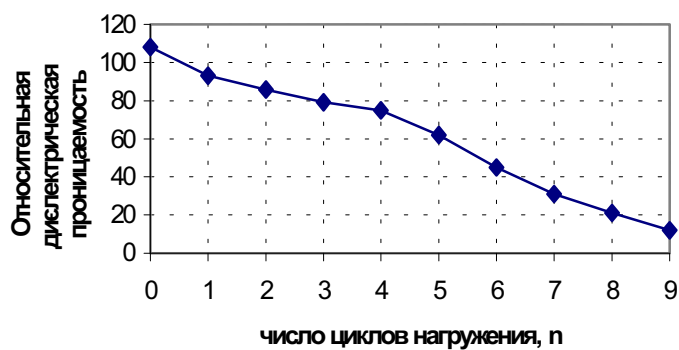


Рис. 2.а - Зависимость относительной диэлектрической проницаемости от числа циклов нагружения; песчаник, ш. им. А. А. Скочинского гл. 1100 м "балочка"

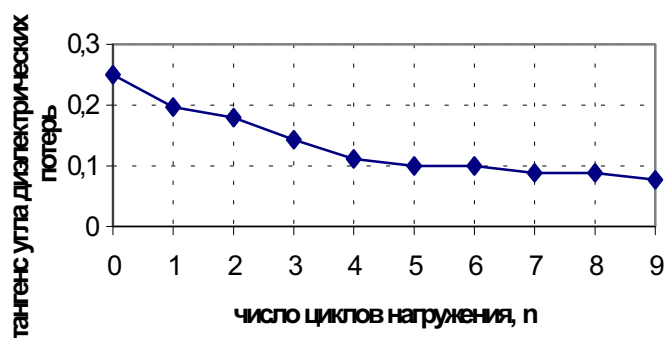


Рис. 2. б - Зависимость тангенса угла диэлектрических потерь от числа циклов нагружения; песчаник, ш. им. А. А. Скочинского, гл. 1100 м. "балочка"

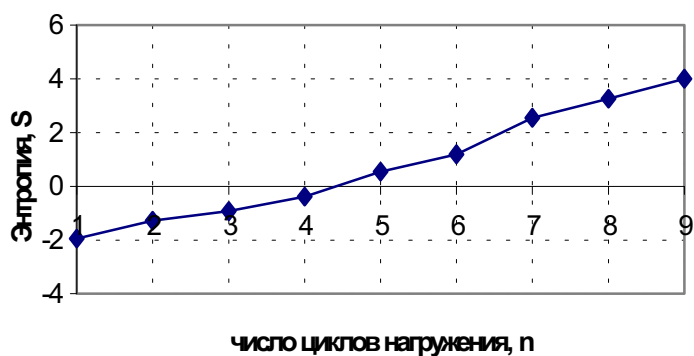


Рис. 2. в - Зависимость энтропии S от числа циклов нагружения; песчаник, ш. им. А. А. Скочинского, гл. 1100 м, "балочка"

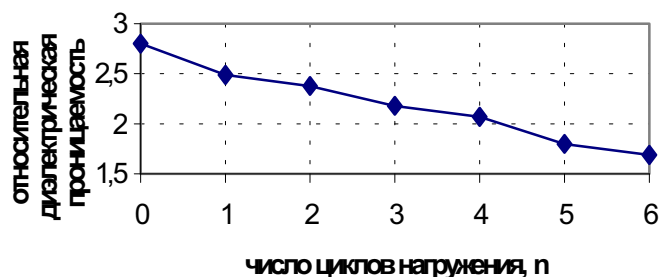


Рис. 3. а - Зависимость относительной диэлектрической проницаемости от числа циклов нагружения; алевролит, ш. 3. - Донбасская, гл. 480 м, "кубик"



Рис. 3. б - Зависимость тангенса угла диэлектрических потерь от числа циклов нагружения; алевролит, ш. 3. - Донбасская, гл. 480 м, "кубик"

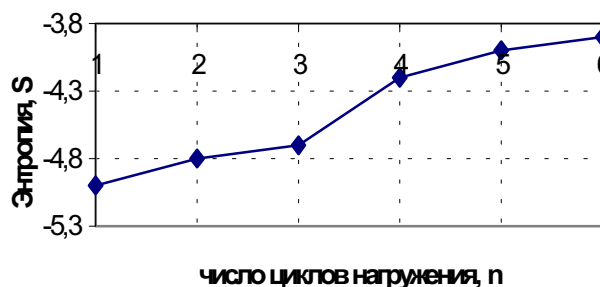


Рис. 3. в - Зависимость энтропии S от числа циклов нагружения; алевролит, ш. 3. - Донбасская, гл. 480 м, "кубик"

В отношении образцов угля, с которыми проводились исследования необходимо отметить, что они длительное время перед испытаниями находились в лабораторных условиях, и с большой степенью точности, поэтому можно утверждать, что весь адсорбированный метан уже «вышел» из образцов в атмосферу.

Сравнение зависимостей диэлектрических характеристик горных пород от степени их поврежденности подобными зависимостями энтропии и скорости УЗ-волны позволяют сделать вывод о том, что изменение  $\epsilon$  и  $tg\delta$  происходит согласованно, т.е. относительно диэлектрическая проницаемость и тангенс угла

диэлектрических потерь могут быть использованы в качестве параметров, характеризующих степень поврежденности горных пород, и при необходимости, по их значениям может быть определена энтропия горных пород.

Таким образом, на основе проведенных исследований можно сделать вывод о том, что контроль диэлектрических параметров элементов породного обнажения может обеспечить достоверный прогноз их устойчивости.

Статья написана по материалам исследований, выполненных в отделе управления динамическими проявлениями горного давления под руководством профессора Зорина А.Н.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ватолин Е.С., Черняков А.Б., Рубан А.О. и др. Методы и средства контроля состояния и свойств горных пород в массиве. – М.: Недра, 1989.–173с.
2. Тарасов Б.Г. Физический контроль массива горных пород. – М.: Недра, 1994.–240с.
3. Кочарян Г.Г., Павлов О.В. Экспериментальное исследование деформационных характеристик структурных нарушений в массиве горных пород //ФТПРПИ. – 1992, № 5. – С.17–23.
4. Леонтьев А.В., Назаров В.А. Физические предпосылки к задаче контроля состояния массива горных пород // Мех.г.п. и строит машин, технол.горн.работ. – ИГД СО РАН. – Новосибирск, 1993. – С.33–37.
5. Турчанинов Н.А., Медведев Р.В., Панин В.И. Современные методы комплексного определения физических свойств горных пород. – Л.: Недра, 1967. – 200с.
6. Бондаренко В.И., Зорин А.Н., Грядущий Ю.Б. и др. Закономерность изменения устойчивости породных обнажений при периодических нагрузках. Открытие № 151, 2000г., М.:–С.П. - Сб.научных открытий,2000.
7. Касьянов В.А. Исследование и разработка электроемкости метода измерения трещиноватости пород вокруг горных выработок. Автореф.дисс. канд.техн.наук, Алчевск, 1997. - 20с.
8. Артемов А.В., Беликов В.В. О возможности прогноза выбросоопасности углей по их диэлектрическим свойствам // Уголь Украины, 1979, № 6. - С.39-40.
9. Векслер В.А., Баширов А.В. Статистические модели распределения вероятностей диэлектрических параметров горных пород // ФТПРПИ, 1991, № 1 . - С.70-75.
10. Зорин А.Н., Бондаренко В.И, Мещанинов С.К. и др. К вопросу устойчивости породных обнажений // Науковий вісник НГАУ. - 2000, № 1. - С.100-101.
11. Ставрогин А.Н., Протосеня А.Г. Механика деформирования и разрушения горных пород. - М.: Недра, 1992. - 224с.
12. Сканава Г.И. Физика диэлектриков (область слабых полей).-М.-Л.: Гос.изд-во технико-теор.лит-ры, 1949. - 500 с.