

**ИССЛЕДОВАНИЕ СВЯЗЕЙ ПАРАМЕТРОВ ТОКОВ ПОЛЯРИЗАЦИИ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ СИГНАЛОВ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ОБРАЗЦОВ ГОРНЫХ ПОРОД**

А.И. Попеляев, Л.В. Яворович, А.А. Беспалько

Научный руководитель: профессор, д.ф.-м.н. А.П. Суржиков

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: Lusi@tpu.ru

**A STUDY OF COMMUNICATIONS OF THE CURRENT POLARIZATION AND OF THE ELECTROMAGNETIC SIGNAL WITH A CHANGE IN THE STRESS-STRAIN STATE OF ROCK SAMPLES**

A.I. Popelyaev, L.V. Yavorovich, A.A. Beshpal'ko

Scientific Supervisor: Prof., Dr. A.P. Surzhikov

Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: Lusi@tpu.ru

*In the work the results of research emerging current polarization and of the electromagnetic signal with a change in the stress-strain state of rock samples. It is established, that at stages of the stress-strain state of rocks observed correlation between emerging current polarization and the amplitude of the electromagnetic signal.*

Теоретическими и экспериментальными исследованиями установлено, что при внешнем механическом воздействии на горные породы в результате механоэлектрических преобразований генерируются электромагнитные сигналы (ЭМС), параметры которых определяются физическими и петрофизическими свойствами исследуемых образцов [1-4]. При этом важной характеристикой в исследованиях механоэлектрических преобразований в горных породах являются их электрические свойства, которые в свою очередь зависят от минерального, фазового состава и структурно-текстурных особенностей [5]. Для разрабатываемого в ТПУ метода мониторинга изменения напряженно-деформированного состояния массивов горных пород и прогноза удароопасности необходимо знание основных закономерностей изменений параметров ЭМС на различных этапах напряженно-деформированного состояния. Выявления таких закономерностей возможно проводить в лабораторных условиях на реальных образцах горных пород. В связи с этим была поставлена задача, исследовать изменения тока поляризации и параметров ЭМС, регистрируемых при одноосном сжатии образцов горных пород.

Эксперименты проводились на образцах горных пород, отобранных на месторождении Таштагольское и представленных магнетитовой рудой и вмещающей породой. Выбор исследуемых образцов основывался на том что, образцы горных пород отличаются по электрическим свойствам. Известно, что электрические свойства образцов горных пород зависят от электрических свойств минералов, слагающих горную породу. Поэтому от образца к образцу они могут изменяться. Так, например, удельное электрическое сопротивление ( $\rho$ ) вмещающих горных пород Таштагольского железорудного месторождения имеют значения  $10^3$ - $10^6$  Ом·м. Минерал магнетит, входящий в состав руд, имеет удельное

электрическое сопротивление порядка  $10^{-2}$ - $10^{-5}$  Ом·м. У магнетитовой руды, за счет включения минералов с большим  $\rho$ , сопротивление повышается до  $10^1$  Ом·м [6].

В процессе исследований одноосное сжатие проводили на прессе вдоль наибольшей оси образцов линейно до разрушения. Скорость изменений усилий прессом поддерживалась для всех образцов равной  $(0,32 \pm 0,03)$  кН/с. Регистрировались: изменение нагрузки, продольная деформация, электромагнитная эмиссия (ЭМЭ) и изменение тока поляризации [7]. Изменение параметров ЭМЭ регистрировалось с использованием регистратора РЕМС1, разработанного и изготовленного в ПНИЛ ЭДиП ТПУ. Регистратор позволял в режиме реального времени записывать изменение ЭМЭ по 5 каналам [8].

На рис. 1 представлено изменение средней амплитуды ЭМЭ на частоте 100 кГц и изменение величины тока поляризации для образца магнетитовой руды с включением кальцита в процессе одноосного сжатия до разрушения

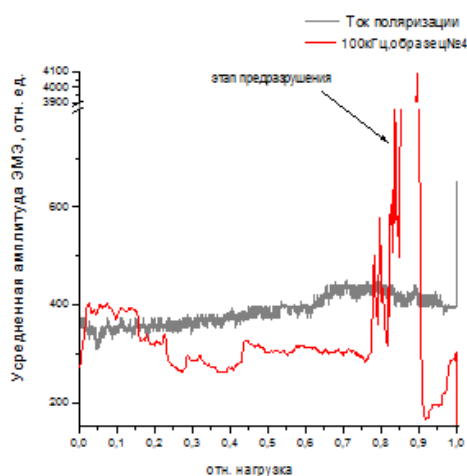


Рис. 1. Изменение ЭМЭ и тока поляризации для образца магнетитовой руды при нагружении

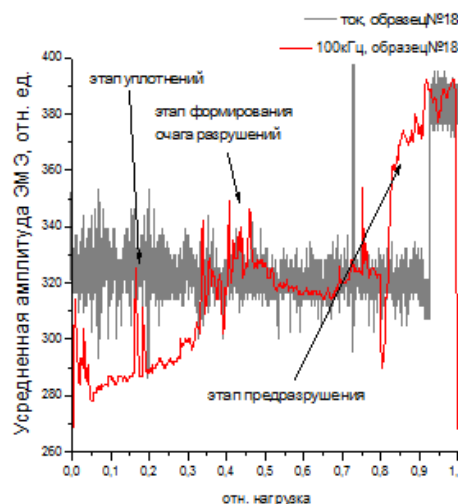


Рис. 2. Изменение ЭМЭ и тока поляризации для образца вмещающей породы при нагружении

Величина разрушающей нагрузки составила  $P_{раз} = 122,5$  кН. Разрушение произошло по плоскости параллельной основанию образца. По деформационной кривой и изменению амплитуды ЭМЭ можно выделить этапы напряженно-деформированного состояния. На рисунке по оси абсцисс отложены значения относительной нагрузки ( $P/P_{раз}$ ). Из рисунка видно, что этап уплотнения завершился при нагружении образца до  $0,2 P_{раз}$ . Этап формирования очага разрушения в образце происходил в пределах интервала значений от  $0,2P_{раз}$  до  $0,5 P_{раз}$ . На этапе уплотнения наблюдается снижение величины тока и увеличение амплитуды ЭМЭ в полосе частот 100 кГц. При дальнейшем увеличении прикладываемого усилия значение тока возрастает и уменьшается электромагнитная активность. Ток достигает максимального значения на этапе предразрушения, соответствующего нагрузке  $0,8-0,98 P_{раз}$  и находится на этом уровне вплоть до завершения этапа предразрушения. В момент разрушения образца ток снижается, а амплитуда ЭМЭ увеличивается. Изменение амплитуды ЭМЭ и величины тока поляризации для образца вмещающей породы представлен на рис. 2. Из рисунка видно, что увеличение усредненной амплитуды ЭМЭ происходит на протяжении всего цикла нагружения. Выявляются этапы деформирования, включая и этап формирования очага разрушения в интервале  $0,3P_{раз} \div 0,45P_{раз}$ . Этап предразрушения определяется по увеличению значений амплитуды ЭМЭ и величины тока поляризации. Оценивая механические свойства образцов по изменению электромагнитной эмиссии, можно сказать, что

этап предразрушения для образцов отличающихся электрическими свойствами, отчетливо прослеживается. Особый интерес представляет ход изменения тока поляризации. Во вмещающих породах при одноосном сжатии возникает ток поляризации, который на начальном этапе нагружения при уплотнении образца, за счет имеющихся в образце трещин пор, обусловлен смещением центров тяжести разноименных зарядов, в результате которых возникают электрические диполи. Образование и релаксация их сопряжены с перемещением заряженных частиц, т.е. с появлением тока. Дальнейшее увеличение нагрузки, при котором происходит возникновение новых микротрещин и их рост приводит к уменьшению тока поляризации. На этапе укрупнения очагов разрушения и образование магистрального разрыва значение тока изменяется незначительно, а на этапе предразрушения отмечается увеличение тока поляризации.

Таким образом, проведенные исследования позволили выявить закономерности изменения тока поляризации и амплитуды ЭМС на этапах изменения напряженно-деформированного состояния образцов горных пород, отличающихся своими электрическими свойствами.

*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 14-08-00395.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беспалько А.А., Гольд Р.М., Яворович Л.В., Дацко Д.И. Влияние текстурных особенностей образцов алевролита на параметры электромагнитного сигнала при акустическом возбуждении // ФТПРПИ. – 2002. – № 2. – С.27–31.
2. Beshpal'ko, A.A., Yavorovich, L.V., Fedotov, P.I. Diagnostics of destruction zone development in rock specimens during uniaxial compression based on the spectral characteristics of electromagnetic signals// Russian Journal of Nondestructive Testing. – 2011. – 47 (10). – P. 680–686.
3. Beshpal'ko, A.A., Yavorovich, L.V., Fedotov, P.I. Mechanoelectrical transformations in quartz and quartz-bearing rocks under acoustic action//Journal of Mining Science . – 2007. – 43 (5) . – P. 472–476.
4. Беспалько А.А., Кузьминых Р.А. Люкшин Б.А., Уцын Г. Е., Яворович Л.В. Экспериментальное и теоретическое исследование электромагнитной эмиссии в неоднородных диэлектрических материалах// Изв. Высших учебных заведений. Физика. – 2007. – № 2. – С.16–22.
5. Беспалько А.А., Яворович Л.В., Гольд Р.М., Дацко Д.И. Возбуждение электромагнитного излучения в слоистых горных породах при акустическом воздействии // ФТПРПИ. – 2003. – № 2. – С.8–14.
6. Связь петрофизических свойств горных пород с изменение параметров электромагнитных сигналов при акустическом воздействии / Беспалько А.А., Яворович Л.В., Суржиков А.П.; Томский политехнический университет.- Томск.: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 120 с.
7. Beshpal'ko, A.A., Yavorovich, L.V., Fedotov, P.I. Diagnostics of destruction zone development in rock specimens during uniaxial compression based on the spectral characteristics of electromagnetic signals// Russian Journal of Nondestructive Testing. – 2011. – 47 (10). – P. 680–686.
8. Беспалько А.А., Федотов П.И., Яворович Л.В. Регистратор электромагнитных и акустических сигналов для контроля прочности и разрушения материалов и массивов горных пород // Известия Томского политехнического университета. – 2008. – № 2. – Т. 312. – С. 255–258.