

ОСОБЕННОСТИ КОМПЛЕКСНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АКУСТОЭМИССИОННЫХ И ТЕРМОРАДИАЦИОННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГЕОМАТЕРИАЛОВ

¹ Блохин Д.И., ¹ Шейнин В.И., ² Комиссаров А.А., ³ Блохина Т.В.

¹ НИИОСП им. Н.М. Герсеевича, Москва, Россия,
dblokhin@yandex.ru

² НИТУ «МИСиС», Москва, Россия

³ ИМАШ РАН, Москва, Россия

Процессы деформирования и разрушения твердых тел, включая и геоматериалы, сопровождаются эмиссионными проявлениями различной физической природы (электромагнитная и акустическая эмиссия, тепловое излучение и т.д.) [1–3 и др.]. Существует целый ряд методик, основанных на использовании указанных эффектов, проявляющихся при изменениях состояния геоматериалов, и позволяющих получать информацию об этих изменениях [4, 5 и др.]. Для повышения достоверности оценок параметров реальных процессов деформирования конструктивных элементов подземных сооружений и вмещающих породных массивов рациональным подходом является комплексирование различных методов физических измерений. В настоящее время в НИИОСП им. Н.М. Герсеевича проводятся исследования, направленные на установление комплекса взаимосвязанных параметров акустикоэмиссионных (АЭ) и терморadiационных (ИК) сигналов, дающих достоверную информацию о протекании и стадийности процессов деформирования геоматериалов [6, 7].

В сообщении описываются лабораторные эксперименты, направленные на обоснование возможности создания такой системы комплексной диагностики. В этих экспериментах при различных режимах нагружения образцов геоматериалов одновременно записывались показания датчиков ИК – излучения и акустической эмиссии (АЭ), а также показания тензометрического элемента и индикатора продольной деформации. Детальное описание экспериментального стенда содержится в [6, 7]. В качестве примера, на рис. 1 представлены графики изменения во времени осевого напряжения $\sigma_l(t)$ (1), интенсивности ИК – излучения $V_w(t)$ (2) и активности АЭ $dN(t)/dt$ (3) при деформировании образца каменной соли в режиме одноосного нагружения при постоянной скорости изменения продольной деформации $d\varepsilon_l/dt = \text{const}$ ($d\varepsilon_l/dt = 0,01$ мм/с).

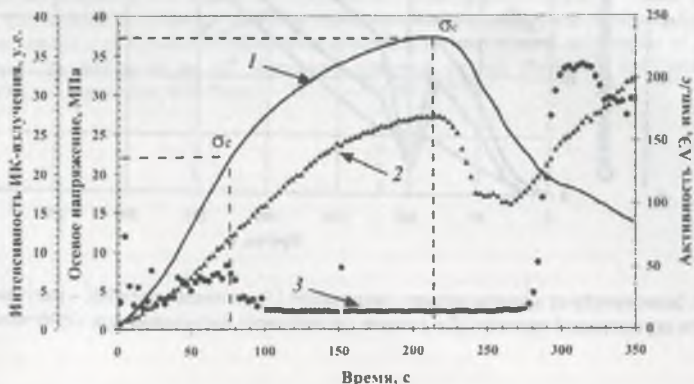


Рис. 1. Зависимости от времени осевого напряжения (1), интенсивности ИК – излучения (2) и активности акустической эмиссии (3) при $d\varepsilon_l/dt = \text{const} = 0,01$ мм/с.

При таких условиях нагружения график $V_w(t)$ «подобен» зависимости $\sigma_1(t)$ на протяжении всей стадии «допредельного» деформирования. Предел прочности σ_c материала испытываемого образца достоверно фиксируется по характерным и совпадающим во времени точкам перегиба графиков $\sigma_1(t)$ и $V_w(t)$. Как показано в [7], указанное «подобие» позволяет идентифицировать стадии изменения напряженного состояния геоматериалов на основе данных терморadiационных измерений, в частности, фиксировать переход от линейного характера деформирования к нелинейному. Максимум, предшествующий ниспадающей ветви графика изменения активности акустической эмиссии $dN(t)/dt$, соответствующий значению $\sigma_1 \approx 22$ МПа можно принять за предел упругости данного образца σ_e , что подтверждается анализом диаграммы « σ_1 - ϵ_1 » [7]. Кроме того, зависимости $\sigma_1(t)$, $V_w(t)$ и $dN(t)/dt$ прослеживаются и на «запредельной» стадии.

В последнее время широкое распространение получили исследования по выявлению влияния повторного (или циклического) нагружения на прочностные и деформационные свойства геоматериалов различных типов. Эксперименты, описываемые ниже, имеют целью тестировать комплексную методику диагностики изменений напряженно-деформированного состояния геоматериалов применительно к условиям последовательных циклов нагружения – разгрузки с увеличивающимся от цикла к циклу значением максимального достигнутого напряжения.

На рис. 2 представлены графики изменения во времени осевого напряжения $\sigma_1(t)$ (1), интенсивности ИК – излучения $V_w(t)$ (2) и суммарного числа импульсов акустической эмиссии $\Sigma N(t)$ (3) при двухцикловом одноосном нагружении ($d\epsilon_1/dt = \text{const} = 0,01$ мм/с) одного из испытывавшихся образцов каменной соли. В данном эксперименте проводилось нагружение образца до значения $\sigma_1 = \sigma_1' \approx 13$ МПа, после чего осуществлялась его разгрузка до $\sigma_1^1 \approx 2$ МПа. Затем образец повторно нагружался до полного разрушения. Предел прочности образца σ_c составил ≈ 25 МПа.

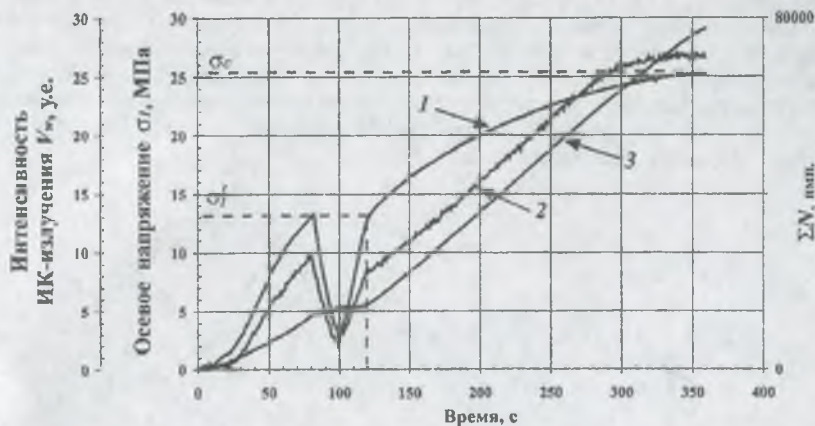


Рис. 2. Зависимости от времени осевого напряжения (1), интенсивности ИК – излучения (2) и активности акустической эмиссии (3) в режиме циклического нагружения при $d\epsilon_1/dt = \text{const} = 0,01$ мм/с

На графиках (рис. 2) отчетливо видно изменение наклона кривых $\sigma_1(t)$, $V_w(t)$, $\Sigma N(t)$ в момент времени, соответствующий достижению осевым напряжением при повторной нагрузке значения $\sigma_1 = \sigma_1^1$, что позволяет отнести наблюдаемые «артефакты» к проявлениям «эффекта памяти» [5]. Фиксацию такого поведения материалов по измерениям параметров АЭ принято называть «эффектом Кайзера». Перспективность восстановления предыстории процесса деформирования на основе указанного эффекта показана в [5]. Видно, что характер экспериментальной зависимости $V_w(t)$ также позволяет идентифицировать по этой зависимости значение σ_1^1 .

Проведенные эксперименты показывают эффективность эмиссионных «неразрушающих» измерений как информационной основы комплексной диагностики процессов изменения напряженно-деформированного состояния горных пород, включая определение значений напряжений на границах стадий упругого и неупругого деформирования и разрушения, а также оценку влияния предыстории процессов деформирования.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 10-05-00687-а).

Список литературы

1. Абрамова К. Б., Щербаков И. П., Русаков А. И., Семенов А. А. Эмиссионные процессы, сопровождающие деформирование и разрушение металлов // ФГТ 1999. — Т 41. № 5. С. 841 — 843.
2. Куксенко В.С., Томилин Н.Г., Махмудов Х.Ф., Бенин А.В. Прогнозирование потери устойчивости нагруженных элементов конструкций методом акустической эмиссии // ПЖТФ. 2007 — Т 33. — № 2. С. 31 — 35.
3. Оливер Д. Анализ полей напряжений с использованием теплового излучения // Экспериментальная механика. Кн. 2. Пер. с англ. / Под ред. А. Кобяси. М.: Мир. 1990.
4. Шейнин В.И., Левин Б.В., Мотовилов Э.А., Морозов А.А., Фаворов А.В. Диагностика периодических изменений напряженного состояния геоматериалов по данным инфракрасной радиометрии // Известия РАН. Физика Земли. 2001. №4. — С. 24 — 30.
5. Лавров А.В., Шкуратник В.Л., Филимонов Ю.Л. Акустоэмиссионный эффект памяти в горных породах. М.: Издательство МГУ — 2004.
6. Шейнин В.И., Блохин Д.И., Дружинская Д.С., Брысин В.П. Комплексное использование акустикоэмиссионных и терморационных измерений для оценки параметров процессов деформирования геоматериалов // Сборник трудов научной конференции, посвященной 100-летию со дня рождения А.В. Римского – Корсакова. М.: ГЕОС. — 2010. С. 154 — 157.
7. Sheynin V.I., Blokhin D.I., Favorov A.V. The instrumentation of parameters of thermal radiation and of acoustic emission as a source of information concerning the processes of deformation of soft rock specimens // Proceeding of the 15th European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. Amsterdam: IOS Press. 2011. P. 267 — 273.