

УДК 622.235

П.В. Егоров, Л.А. Белина, А.В. Бабенко, С.С. Торгаев, А.С. Бузмаков

## ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ИМПУЛЬСНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ ДЕФОРМИРОВАНИИ ОБРАЗЦОВ С ЧЕРЕДУЮЩИМИСЯ СТРУКТУРАМИ

Экспериментальные данные, полученные в лабораторных условиях при деформировании зернистых структур с различными по размеру диаметрами зерен, показывают, что для определенного диаметра зерна соответствует свой частотный диапазон. Получена линейная зависимость длительности фронта нарастания импульсного электромагнитного сигнала (ЭМС) от размера фракции зерен в материале [1]. Поэтому возникла необходимость исследовать изменение временных параметров сигнала электромагнитного излучения (ЭМИ) в образце с чередующимися материалами.

Для этого были изготовлены эталонные образцы с чередующимися структурами. Схематично они представлены на (рис. 1,2). Образец №1 представляет собой чередование мелкозернистой структуры песчаника и слоистую структуру угля, причем уголь находился между песчаником. Образец №2 представляет собой чередование зернистой структуры раствора со слоистой структурой угля,



Рис.1. Схема образца с чередующимися структурами №1



Рис.2. Схема образца с чередующимися структурами №2

причем уголь находился в середине образца. Раствор представляет собой зернистую структуру со средним размером клинкера 0,035 мм, у песчаника размер зерен – 0,14 мм. Регистрация ЭМС и деформирование образцов производилось путем одноосного сжатия на установке [1].

Процесс выделения ЭМИ отражает статистику накопления элементарных повреждений в материале. На рис. 3 показана кинетика выделения импульсов ЭМИ при разрушении эталонного образца №1 (песчаник – уголь – песчаник).

На первой стадии деформирования до  $0,2P_p$  низкочастотные и высокочастотные импульсы ЭМИ соответствуют трещинам, которые возникают с поверхности, в результате взаимодействия индентора с поверхностью образца и между поверхностями песчаника и угля («поверхностный эффект»). На второй стадии деформирования ( $0,2 - 0,5P_p$ ) количество низкочастотных импульсов ЭМИ, соответствующие углю, больше, чем высокочастотных, соответствующие песчанику, т.к. уголь является менее проч-

ным материалом, чем песчаник и начинает разрушаться раньше. На третьей стадии ( $0,5 - 0,8P_p$ ) регистрируются низкочастотные импульсы ЭМИ, т.к. на этой стадии песчаники выступают в качестве инденторов для расположенного между ними образца угля, разрушая его. Четвертая стадия деформирования ( $0,8P_p - P_p$ ) характеризуется способностью материала накапливать энергию, направленную на разрушение образца. На этой стадии количество регистрируемых импульсов ЭМИ очень мало. При потере несущей способности образца оказалось, что разрушился только уголь.

При разрушении образцов №1 было зафиксировано смещение стадий деформирования угля относительно песчаника. Это происходит из-за существенного различия в прочностных свойствах угля и песчаника.

На рис. 4 показана кинетика выделения импульсов ЭМИ при разрушении эталонного образца №2 (бетон-уголь-бетон). Здесь видно, что смещение стадий деформирования угля и бетона не происходит, в отличие от деформирования образца №1. Это объясняется

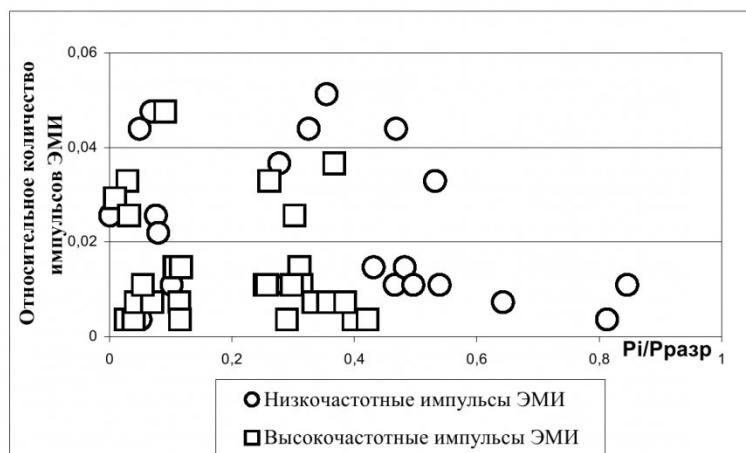


Рис.3. Кинетика выделения импульсов ЭМИ при разрушении эталонного образца №1

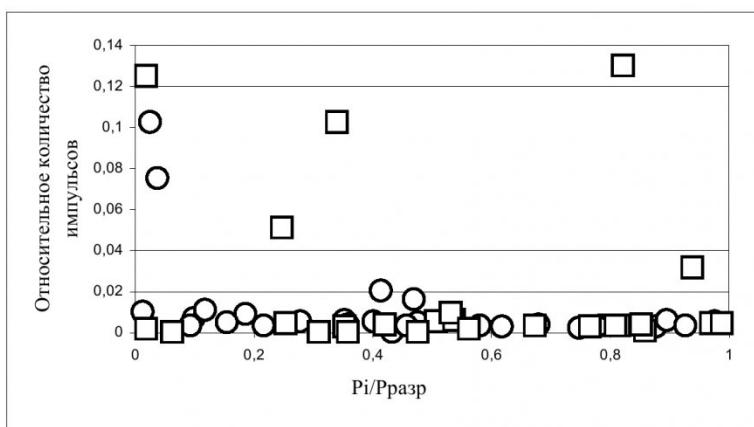


Рис.4. Кинетика выделения импульсов ЭМИ при разрушении эталонного образца №2

примерно одинаковыми прочностными свойствами материалов.

Возможности установки позволяли разделять импульсы ЭМИ, соответствующие треши-

нам, которые возникают в одной структуре, а затем переходят в другую. Это позволило, используя временные параметры ЭМИ, исследовать изменение скорости распространения

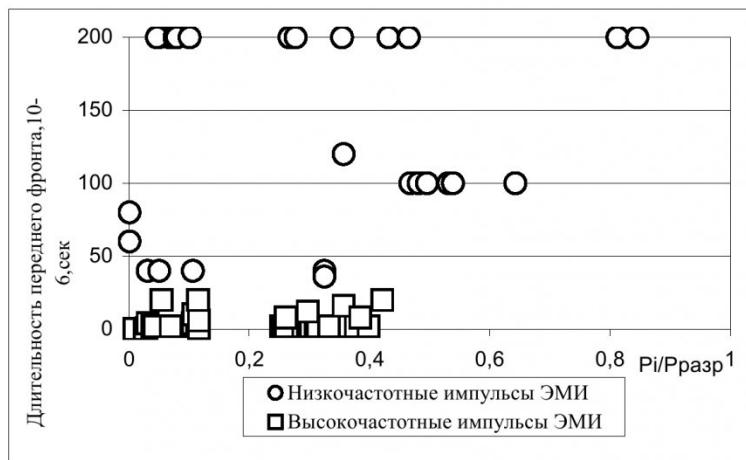


Рис.5. Распределение значений длительности фронта нарастания импульсов ЭМИ от нагрузки при разрушении эталонного образца №1

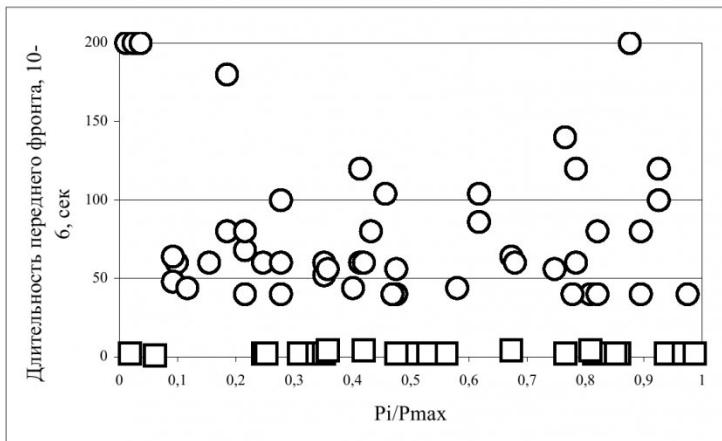


Рис.6. Распределение длительности фронта нарастания импульсов ЭМИ от нагрузки при разрушении эталонного образца №2

трещин в каждом деформируемом материале.

Для каждого деформируемого материала в образце соответствует своя частота ЭМИ: для песчаника регистрировались импульсы в диапазоне частот (0,1 – 10) МГц, для угля – (20 – 50) кГц, для бетона (10 – 20) кГц.

Для песчаника диапазон длительности фронта нарастания импульсов ЭМИ –  $(0,1-3) \cdot 10^{-4}$  сек, для бетона величина длительности фронта нарастания импульсов ЭМИ –  $(0,05-0,1) \cdot 10^{-4}$  сек, для угля величина длительности фронта нарастания импульсов ЭМИ –  $(0,3-2) \cdot 10^{-3}$  сек. Таким образом, по длительности фронта нарастания импульсов ЭМИ, можно определить, в какой структуре образуются трещины при деформировании материала.

Зависимость длительности фронта нарастания импульсов ЭМИ от нагрузки при разрушении эталонных образцов с чередующимися структурами показано на рис. 5 и 6.

По экспериментальным значениям длительности фронта нарастания  $\tau_h$  импульса ЭМИ, были рассчитаны скорости образования микротрещин и трещин раскола по формулам:

$$V_M \approx \frac{a_M}{\tau_h}, \quad (1)$$

$$V_p \approx \frac{ap}{\tau_h}, \quad (2)$$

где  $V_p$  – скорость распространения трещины, м/с;  $a_p$  – размер трещины раскола,  $10^{-3}$  м;  $a_M$  – размер микротрещины,  $10^{-3}$  м;  $V_M$  – скорость образования микротрещины, м/с.

Значения скоростей образования микротрещин в образцах с чередующимися структурами сравнивались со значениями скоростей, полученными при деформировании конкретных материалов по отдельности. Результаты расчетов приведены в таблице.

Необходимо отметить, что

Таблица

Значения экспериментальных и теоретических скоростей распространения микротрещин в образцах с чередующимися структурами.

№ п/п	Название со- ставляющих образцов с чередующими- ми струк- турами	Скорость распространения трещины		
		Экспериментальная		
		В чистом виде, $V_{\text{с. м.}} \cdot 10^3$ , м/с	В составе образцов с чередующимися структурными, $V_{\text{с. м.}} \cdot 10^3$ , м/с	Изменение скорости, %
1	песчаник	0,83	0,8	3-4
2	бетон	0,035	0,038	7-8
3	уголь	0,11	0,12	8-9

при деформировании образцов с чередующимися материалами скорость трещинообразования в каждом материале различна и совпадает со значением скорости при деформировании конкретного материала.

Скорости образования микротрещин в песчаниках и бетонах в чистом виде практически равны скоростям образующихся микротрещин в образцах с че-

редующимися структурами.

По результатам выполненных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Установлено, что значения скоростей образования трещин в материалах сохраняют свои значения при деформировании их в образцах с чередующимися структурами (угля, песчаника, бетона).

2. По кинетическим зависи-

мостям выделения импульсного электромагнитного излучения, установлено смещение стадий деформирования на образцах с чередующимися материалами различной прочности.

Работа выполнена при поддержке Конкурсного центра фундаментального естествознания Минобразования России (Шифр гранта РД02 – 1 . 5 – 268)

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.

1. Егоров П.В., Колпакова Л.А., Бабенко А.В. Исследование деформируемых твердых тел зернистой структуры методом регистрации импульсного электромагнитного излучения: Научное издание / ГУ КузГТУ. – Кемерово, 2003. 134 с.

□ Авторы статьи:

Егоров Петр Васильевич - докт. техн. наук, проф., зав. каф. раз- работки месторож- дений полезных ископаемых подзем- ным способом	Белина Любовь Александровна -канд. техн. наук, доц. каф. разработки месторождений по- лезных ископаемых подземным спосо- бом	Бабенко Александр Вячеславович -ст. преподаватель каф.разработки ме- сторождений полез- ных ископаемых подземным спосо- бом	Торгаев Сергей Сергеевич - магистр каф. раз- работки месторож- дений полезных ископаемых подзем- ным способом	Бузмаков Алексей Сергеевич - магистр каф. раз- работки месторож- дений полезных ис- копаемых подзем- ным способом
---	--	---	--	--