

УДК 622.83:620.1

**ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ  
ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ СИГНАЛОВ ПРИ  
АКУСТИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ  
НА ОБРАЗЦЫ ГОРНЫХ ПОРОД**

Т.В. Овсянникова, Л.В. Яворович

Томский политехнический университет

E-mail: lusi@tpu.ru

**Овсянникова Татьяна Владимировна**, магистрант кафедры физических методов и приборов качества Института неразрушающего контроля ТПУ.

E-mail: lusi@tpu.ru

Область научных интересов: методы и приборы контроля изменений напряженно-деформированного состояния горных пород и прогноз уда-роопасности.

**Яворович Людмила Васильевна**, канд. техн. наук, ст. науч. сотр. проблемной научно-исследовательской лаборатории электроники диэлектриков и полупроводников Института неразрушающего контроля ТПУ.

E-mail: lusi@tpu.ru

Область научных интересов: физика конденсированного состояния, методы и приборы контроля изменений напряженно-деформированного состояния горных пород и прогноз удароопасности.

Приведены результаты исследования изменений параметров электромагнитных сигналов при пьезоакустическом воздействии на образцы горных пород Таштагольского рудника. Получено, что с увеличением длительности возбуждающего акустического сигнала наблюдается уменьшение величины амплитуды аналогового электромагнитного сигнала и амплитуды его спектральных составляющих.

**Ключевые слова:**

Электромагнитный сигнал, амплитудно-частотный спектр, горные породы, пьезоакустическое возбуждение.

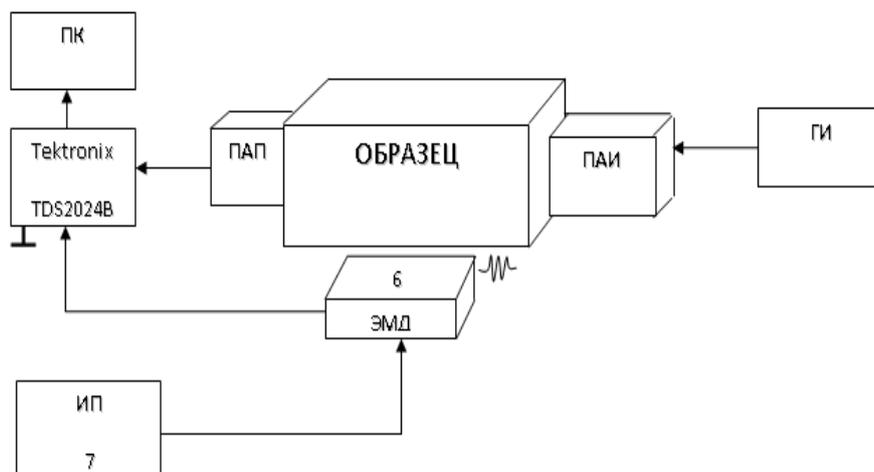
В Томском политехническом университете (ТПУ) ведется разработка метода мониторинга изменения напряженно-деформированного состояния массивов горных пород и прогноза геодинамических явлений. В основе разрабатываемого метода лежат фундаментальные исследования механоэлектрических преобразований в диэлектрических материалах, включая горные породы. Эти исследования начаты в ТПУ в начале 70-х гг. под руководством чл.-корр. АПН А.А. Воробьева [1]. Следствием механоэлектрических преобразований являются электромагнитные сигналы, генерируемые исследуемыми материалами, при механиче-

ском, акустическом, термическом, радиационным и других видах воздействия. Причиной появления электромагнитных сигналов (ЭМС) является изменяющийся или появляющийся заряд. Авторами работ [2–5] указывается, что параметры электромагнитных сигналов, генерируемых горной породой, зависят от физико-механических свойств горных пород, их генетического типа и структурно-текстурных особенностей.

Объектами данного исследования были образцы, представленные вмещающей породой Таштагольского железорудного месторождения. Вмещающая горная порода представляет собой породу, в которой заключено рудное тело с полезными ископаемыми. На Таштагольском месторождении ведется добыча магнетитовой руды. Все остальные породы в руднике – это скарны различного состава, сланцы, сиениты, кварциты и др., являются вмещающими. Известно также, что на параметры ЭМС большое влияние оказывают электрические свойства минералов, слагающих горную породу [6]. А так как электрические свойства вмещающих пород в разы отличаются от рудных [7], то была поставлена задача по исследованию изменений параметров электромагнитных сигналов при пьезоакустическом возбуждении образцов таких пород.

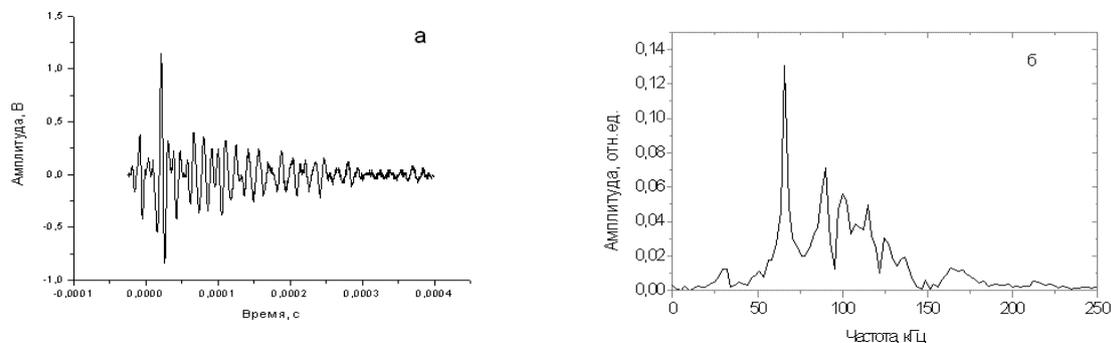
Исследуемые образцы были вырезаны из кернов, полученных при бурении в Таштагольском руднике, имели форму цилиндра высотой 80 мм и диаметром 42 мм. Торцевые стороны образцов сошлифовывались до плоскопараллельности.

При пьезоакустическом воздействии на образцы горных пород использовали экспериментальную установку, разработанную и изготовленную в Проблемной научно-исследовательской лаборатории электроники, диэлектриков и полупроводников (ПНИЛ ЭДиП) ТПУ, блок-схема которой представлена на рис 1. К образцу от генератора (ГИ) с помощью пьезоизлучателя (ПАИ) через акустический контакт (минеральное масло) вводился акустический сигнал, распространяющийся по образцу с продольной скоростью звука. Акустический сигнал, проходя через образец, возбуждал ЭМС и регистрировался с помощью пьезоакустического приемника (ПАП) на экране осциллографа (Tektronix). Для приема ЭМС служит емкостной датчик (ЭМД), который принимает электрическую составляющую ЭМС. Датчик имеет согласованный дифференциальный вход. Усиленный ЭМС с датчика (ЭМД) поступал на вход осциллографа Tektronix TDS2024B. С осциллографа ЭМС через интерфейс записывался в память компьютера (ПК), где затем производилась его дальнейшая обработка. Анализ ЭМС производился с помощью графической программы Origin7. В результате пьезоакустического возбуждения образца были зарегистрированы электромагнитные сигналы.

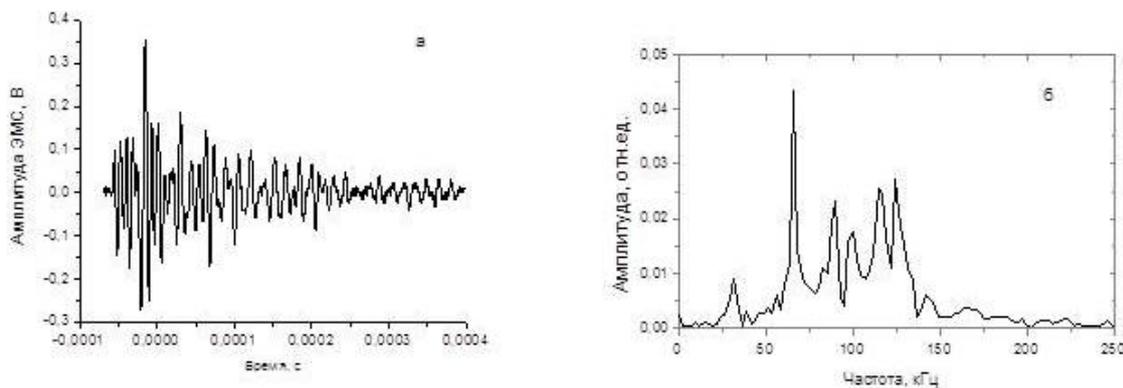


**Рис. 1.** Блок-схема экспериментальной установки для регистрации ЭМС при пьезоакустическом возбуждении

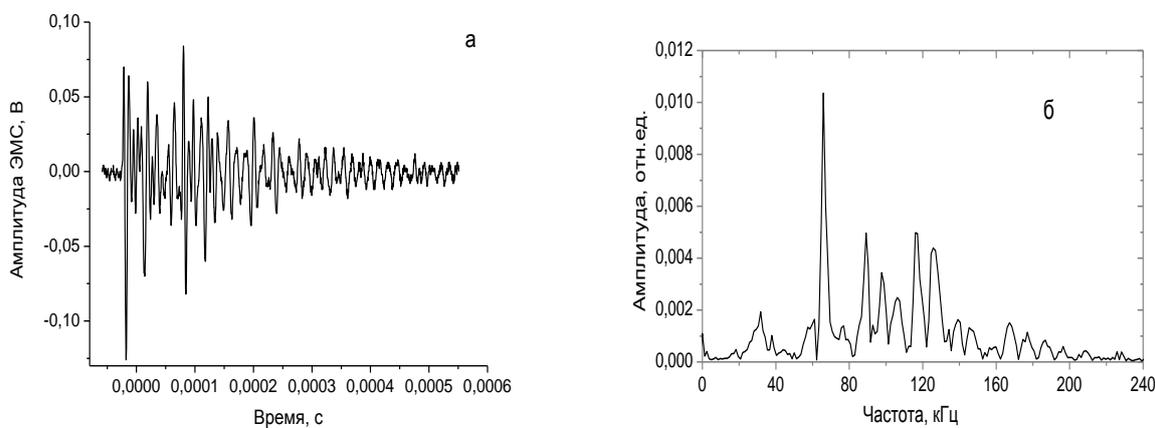
Используя процедуру быстрого преобразования Фурье, были построены амплитудно-частотные спектры электромагнитных сигналов. По полученным данным проведен анализ. В качестве примера на рис. 2–4 представлены аналоговые электромагнитные сигналы (ЭМС) (рис. 2, а; 3, а; 4, а) и их амплитудно-частотные спектры (АЧС) (рис. 2, б; 3, б; 4, б) при прозвучивании образца горной породы длительностью импульса возбуждения 5 (рис. 2), 10 (рис. 3) и 100 мкс (рис. 4). Напряжение возбуждения пьезопреобразователя во всех случаях составляло 800 В.



**Рис. 2.** Электромагнитный сигнал (а) и его амплитудно-частотный спектр (б) при прозвучивании акустическом импульсом длительностью 5 мкс



**Рис. 3.** Электромагнитный сигнал (а) и его амплитудно-частотный спектр (б) при прозвучивании акустическом импульсом длительностью 10 мкс

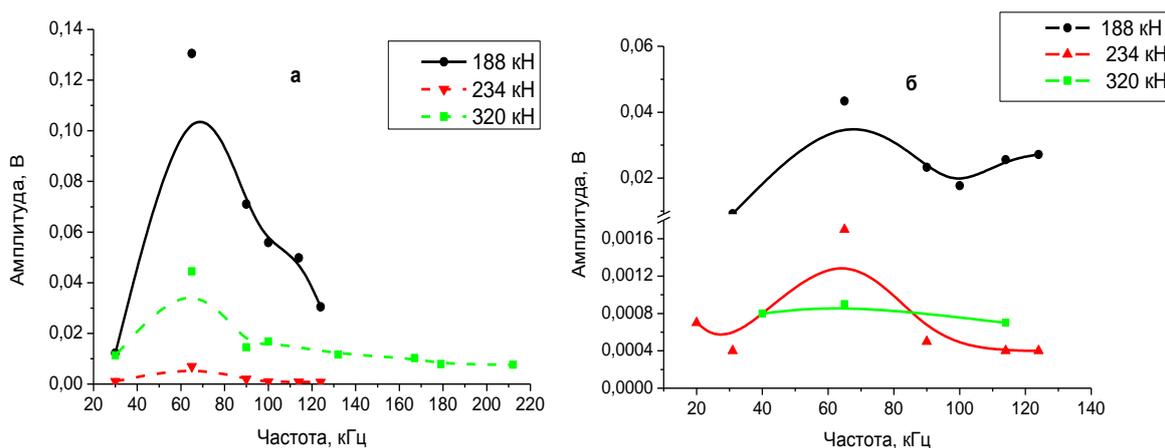


**Рис. 4.** Электромагнитный сигнал (а) и его амплитудно-частотный спектр (б) при прозвучивании акустическом импульсом длительностью 100 мкс

Из рис. 2–4 видно, что увеличение длительности импульса пьезовозбуждения с 5 до 10 мкс не изменяет форму аналогового сигнала и его спектр. Наблюдается только изменение амплитуды самого сигнала и амплитуды его спектральных составляющих. При длительности импульса возбуждения 100 мкс спектр становится более широким. И также отмечается снижение амплитуды ЭМС и амплитуды его спектра.

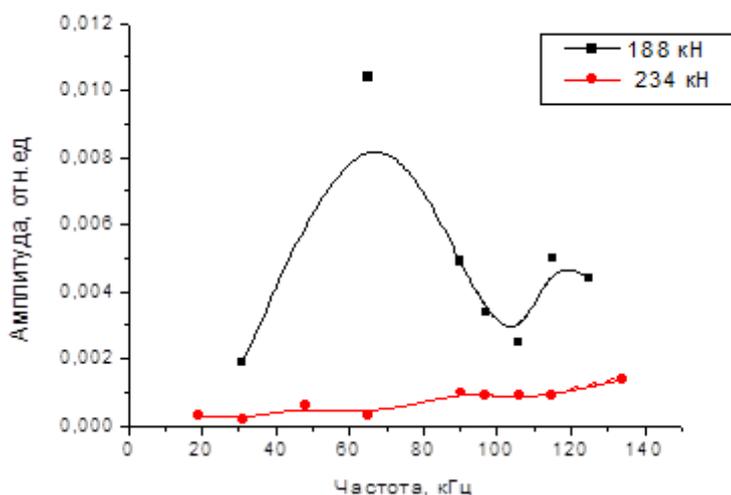
На следующем этапе исследований было проведено одноосное сжатие образцов на прессе для определения предельной прочности образцов. Проведенные измерения показали, что для данной группы образцов предельная прочность составила от 188 до 320 кН. Полученное различие значений предельной прочности свидетельствует о неоднородности состава пород в пределах образца, наличия дефектов и трещин.

По результатам проведенных исследований были построены зависимости изменения амплитуды гармоник электромагнитного сигнала при соответствующей длительности акустического импульса возбуждения.



**Рис. 5.** Зависимость изменения амплитуды гармоник сигнала при длительности акустического импульса возбуждения 5 мкс (а) и 10 мкс (б) для образцов различной прочности

На рис. 5 приведены зависимости изменения амплитуды гармоник ЭМС при длительности акустического импульса возбуждения 5 и 10 мкс. На рис. 6 приведены зависимости изменения амплитуды гармоник ЭМС при длительности акустического импульса возбуждения 100 мкс. На рисунках по оси ординат приведены максимальные значения амплитуды спектральных составляющих АЧС для образцов с различной предельной прочностью, по оси абсцисс – частота спектральных составляющих. На врезке на рис. 5 и 6 указана предельная прочность образцов.



**Рис. 6.** Зависимость изменения амплитуды гармоник сигнала при длительности акустического импульса возбуждения 100 мкс

Из рис. 5 и 6 видно, что образцы с меньшей предельной прочностью, при пьезоакустическом возбуждении, генерируют ЭМС с максимальными спектральными составляющими. С увеличением прочности наблюдается снижение амплитуды спектральных составляющих. Увеличение длительности импульса пьезоакустического возбуждения до 100 мкс приводит к уменьшению величины максимальных амплитуд спектральных составляющих для всех образцов с различными значениями предельной прочности.

Таким образом, проведенные экспериментальные исследования влияния пьезоакустического возбуждения на параметры ЭМС для образцов вмещающих горных пород Таштагольского железорудного месторождения показали, что:

- во всем диапазоне изменения длительности импульса акустического воздействия в амплитудно-частотных спектрах электромагнитных сигналов выделяются две основные частотные полосы: 63÷66 и 89÷92 кГц. Вид регистрируемых ЭМС позволяет сделать вывод о том, что это затухающие колебательные процессы. При изменении длительности возбуждающего импульса наблюдаются изменения формы аналогового электромагнитного сигнала, а соответственно и его амплитудно-частотный спектр для всех образцов;
- с увеличением длительности возбуждающего акустического сигнала происходит уменьшение амплитуды аналогового электромагнитного сигнала и амплитуды спектральных составляющих для образцов вмещающей горной породы;
- сравнение максимальных значений амплитуд аналоговых электромагнитных сигналов и их спектральных составляющих указывает на то, что для низкопрочных образцов величина этих параметров на порядок превышает максимальные амплитуды более высокопрочных образцов.

*Работа выполнена в рамках Госзадания «Наука».*

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воробьев А.А. О возможности электрических зарядов в недрах Земли // Геология и геофизика. – 1970. – № 12. – С. 3–13.
2. 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.
3. Беспалько А.А., Яворович Л.В. Исследование влияния концентрации водного раствора NaCl на параметры электромагнитного сигнала песчаников // Изв. Высших учебных заведений. Физика. – 2008. – № 11/2. – С. 117–120.
4. Беспалько А.А., Люкшин Б.А., Уцын Г.Е. Влияние размеров неоднородностей на характеристики волновых процессов в упругих средах // Изв. Вузов. Физика. – 2008. – № 11/2. – С. 52–57.
5. Беспалько А.А., Суржиков А.П., Яворович Л.В. Исследование механоэлектрических преобразований в горных породах при динамических воздействиях // Горный журнал. – 2006. – № 4. – С. 32–34.
6. Беспалько А.А., Яворович Л.В., Федотов П.И. Связь параметров электромагнитных сигналов с электрическими характеристиками горных пород при акустическом и квазистатическом воздействиях // Известия Томского политехнического университета. – 2005. – Т. 308. – № 7. – С. 18–23.
7. Вахромеев Г.С., Ерофеев Л.Я., Канайкин В.С., Номоконова Г.Г. Петрофизика. – Томск: Изд-во Том. Ун-та, 1997. – 462 с.

Поступила 13.06.2013 г.